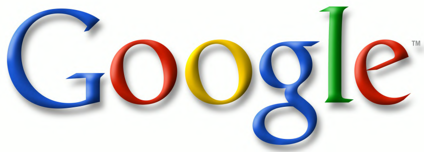
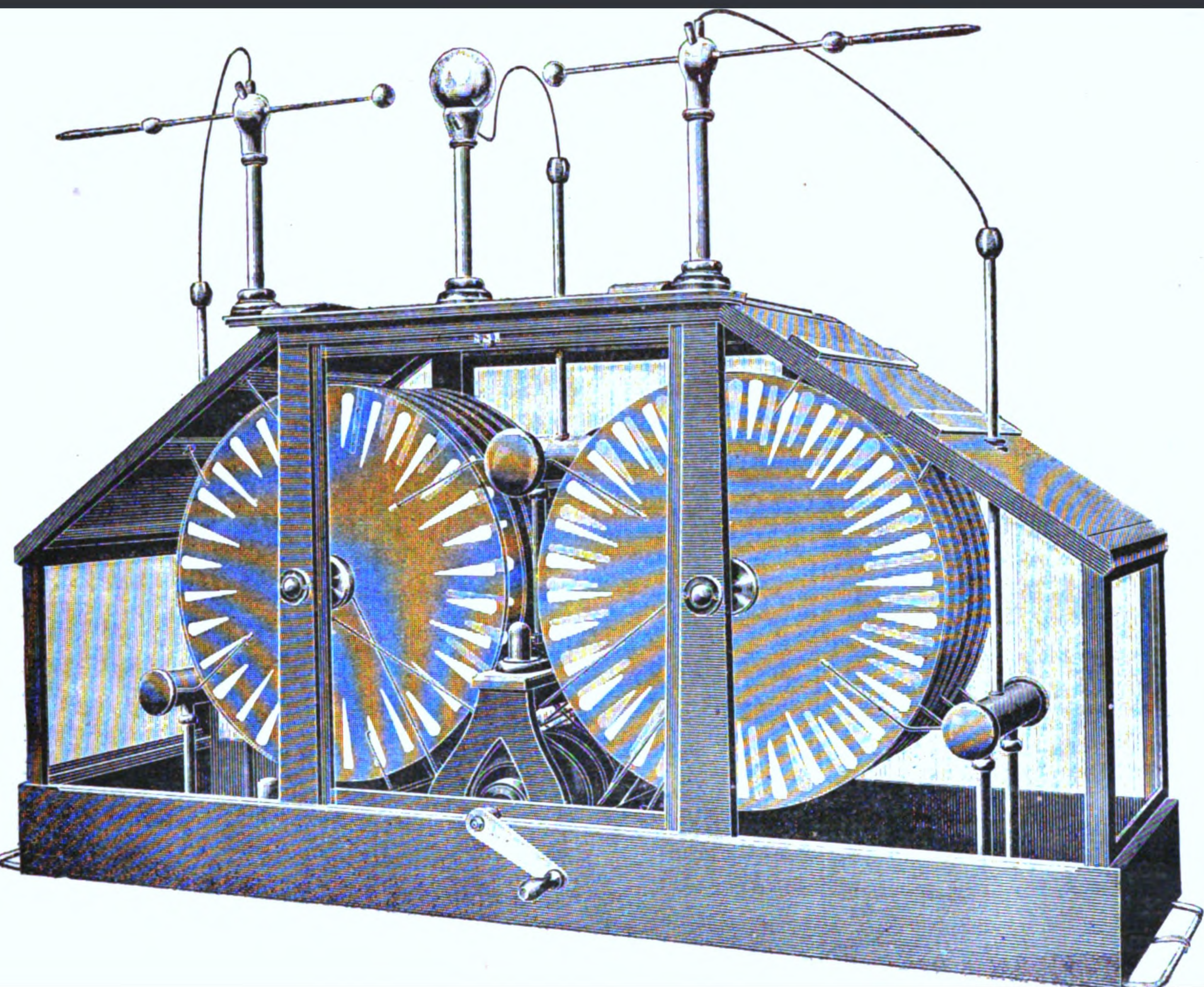




L'Éclairage électrique


Dei
Sub Numine
Viget

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Eclairage Electrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. CORNU
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

J. BLONDIN
PROFESSEUR AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ.

TOME XII

3e TRIMESTRE 1897

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Tome XII. Samedi 26 Juin 1897. 4e Année. — N° 27.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE

I. On sait que dans un conducteur parcouru par un courant d'intensité invariable, la différence de potentiel et la résistance entre deux points donnés du conducteur sont liés à cette intensité par la loi d'Ohm.

$$E = RI. \qquad (1)$$

Lorsque l'intensité du courant vient à varier, cette formule ne peut plus être employée telle quelle. Une théorie approximative, s'appuyant quelque peu sur l'expérience, a défini sous le nom de self-inductance un coefficient L qui permet de donner à la différence de potentiel la forme simple suivante, qui est bien connue

$$E = RI + L\frac{dI}{dt}. \qquad (2)$$

Toutefois cette formule n'est exacte que pour des conducteurs dont les dimensions transversales sont suffisamment petites lorsqu'ils sont traversés par des courants dont les variations sont suffisamment lentes [1]. Maxwell, qui a le premier donné [2] la formule générale de la différence de potentiel dans le cas d'un conducteur cylindrique, le plus aisé à traiter, l'a mise sous la forme suivante :

$$E = RI + L\frac{dI}{dt} + X_2\frac{d^2I}{dt^2} + \dots + X_n\frac{d^nI}{dt^n} + \dots \qquad (3)$$

où X_2, X_3..., X_n .... sont des coefficients des premiers desquels nous donnerons la forme plus loin.

Dans ce cas la self-inductance n'a plus de sens réel. Mais en appliquant la formule (3) à un courant périodique simple, de fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$, qui est caractérisé par la relation

$$\frac{d^2I}{dt^2} = -\omega^2 I, \qquad (4)$$

on voit immédiatement que la formule (3) devient

$$E = X_0 I + X_1\frac{dI}{dt}, \qquad (3')$$

c'est-à-dire se ramène à la formule usuelle (2) sous la seule réserve que les paramètres X_0 et X_1 ne sont plus la résistance et la self-inductance, mais peuvent s'exprimer en fonction de ces éléments et d'autres éléments connus.

Il importe de distinguer ce paramètre X_0 de ce qu'on appelle la *résistance apparente* ou

(1) Il est impossible de préciser davantage dès à présent ces deux points. La suite des calculs permettra de fixer plus loin les limites dans lesquelles la formule est appréciable.

(2) Voir MAXWELL, *Traité d'électricité et de Magnétisme*, 689, traduction de M. Seligmann-Lui, vol. II, p. 360.

impédance du conducteur. Si on a en effet

$$E = E_0 \sin \omega t, \quad (5)$$

et qu'on veuille mettre I sous la forme

$$I = I_0 \sin (\omega t - \varphi), \quad (6)$$

où est un paramètre de dimensions nulles, et I_0 une constante, on trouve

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\omega L}{R}, \\ E_0 &= I_0 \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

La quantité $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ joue donc un rôle analogue à celui de la résistance dans l'équation (1) et c'est pour ce motif qu'elle avait reçu le nom de *résistance apparente* au Congrès international des électriciens de 1889. Depuis le Congrès de 1893, on emploie de préférence la dénomination d'*impédance*.

La quantité X_0 joue aussi le rôle d'une résistance apparente et son action est cependant toute différente.

L'énergie dépensée en chaleur dans le conducteur est en effet pendant le temps dt

$$dW = EI dt. \quad (8)$$

En prenant le courant défini par les formules (5) et (6) l'énergie dépensée pendant une période complète T sera

$$W = \int_t^{t+T} dW = E_0 I_0 \int_t^{t+T} \sin \omega t \sin (\omega t - \varphi)\, dt, \quad (9)$$

Or

$$\sin \omega t \sin (\omega t - \varphi) = \frac{1}{2} [\cos \varphi - \cos (2 \omega t - \varphi)],$$

de telle sorte que, les lignes trigonométriques reprenant pour $t + T$ la même valeur que pour t, l'intégrale se réduit simplement à

$$W = \frac{E_0 I_0 T}{2} \cos \varphi, \quad (9')$$

ou, en tenant compte de ce que d'après la première des équations (7), on a

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{R I_0}{E_0}, \quad (7')$$

$$W = \frac{R I_0^2 T}{2}, \quad (9'')$$

formule dans laquelle la résistance apparente n'intervient pas.

Si au contraire on a un conducteur parcouru par un courant régi par la formule (3'), l'énergie dépensée devient

$$W = \frac{X_0 I_0^2 T}{2}, \quad (9''')$$

et comme X_0 est toujours au moins égal à R, on voit quel intérêt il y a à connaître sa valeur pour l'exploitation de l'énergie électrique par courants alternatifs.

Pour bien différencier ces quantités qui jouent un rôle si distinct, nous appellerons [1]

Résistance statique la quantité R;
Self-inductance statique la quantité L;
Résistance effective la quantité X_0;
Self-inductance effective la quantité X_1.

L'importance de ce problème n'a pas échappé à lord Kelvin qui étudia le cas des courants périodiques simples traversant un conducteur cylindrique. La question fut encore reprise plusieurs fois; nous n'en ferons pas l'historique complet et citerons seulement la communication récente de M. Mascart [2] dans laquelle nous avons dû rectifier une erreur grave [3] en contradiction avec un résultat que nous avions établi depuis longtemps déjà.

Dès 1889, en effet, M. Hospitalier, frappé de l'importance de ce point en présence de l'extension que tendaient tout à coup à prendre les courants alternatifs, avait demandé l'exposé de la théorie à M. Vaschy, qui voulut bien nous charger de ce travail.

---

[1] La dénomination de résistance statique exprime bien qu'il s'agit de la résistance aux courants continus; celle de self-inductance statique peut paraître bizarre. Elle a été adoptée simplement pour affecter la même épithète aux quantités qui doivent rester groupées ensemble, et en l'absence de dénominations spéciales pour la résistance et la self-inductance effectives.

[2] Voir *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. XII, n° 123, décembre 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 469, 7 décembre 1895.

[3] Voir *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. XIII, n° 125, février 1896. — *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 82, 11 avril 1896.

Nous fûmes amenés depuis à modifier et à compléter ce premier travail (1) par une note parue récemment (2). Nous avons réussi à le pousser beaucoup plus loin au prix de quelques changements de notations, de telle sorte qu'il nous a paru utile de remanier complètement nos notes antérieures de façon à présenter un travail d'ensemble, dont la partie inédite n'est pas la moins importante.

II. Il ne sera question, dans ce qui suit, que d'un conducteur cylindrique. C'est en même temps la forme la plus usuelle et la plus simple pour le développement des calculs.

Désignons par μ la perméabilité magnétique du métal et par Φ le flux de force magnétique embrassé par le circuit.

Du fait même que le circuit est traversé par un courant il résulte qu'il se trouve dans un champ magnétique. Il peut d'ailleurs se trouver dans le voisinage d'autres circuits traversés par des courants ou des pôles magnétiques répartis d'une manière quelconque. Il en résulte des tubes de force magnétique qui remplissent l'espace, et nous désignerons par Φ la portion du flux de force qui traverse une surface quelconque ayant pour périmètre le circuit considéré. S'il y a une variation quelconque dans le champ magnétique, l'effet produit sur le fil est d'ajouter à la force électromotrice E une nouvelle force électromotrice dite induite et égale à $-\mu \frac{d\Phi}{dt}$, de telle sorte que l'expression générale de la force électromotrice est :

$$E = RI + \mu \frac{d\Phi}{dt}. \tag{10}$$

C'est là un théorème bien connu d'électromagnétisme.

Nous supposerons notre conducteur rectiligne et l'influence du champ extérieur assez faible, au moins dans le voisinage de la portion considérée du conducteur pour que dans cette portion la distribution des surfaces équipotentielles magnétiques soit sensiblement la même que celle correspondant au champ du courant seul.

Considérons dès lors une portion de conducteur de rayon a (fig. 1), de longueur l entre les

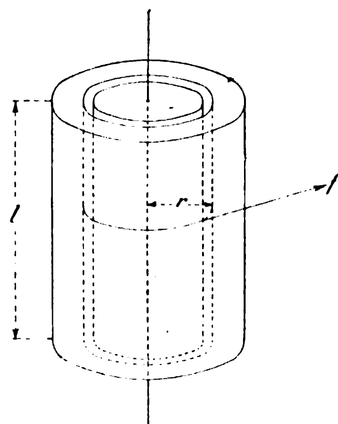


Fig. 1.

extrémités de laquelle la différence de potentiel est E, la même en tous les points de la section droite. Désignons par u la densité du courant à la distance r de l'axe, par ρ la résistivité du conducteur, par Φ le flux de force embrassé par le filet longitudinal d'épaisseur dr placé à la distance r de l'axe, et par $d\sigma$ l'élément de section du cylindre.

Nous aurons évidemment pour ce filet, d'après (10) :

$$E = \rho l u + \mu \frac{d\Phi}{dt}, \tag{11}$$

et d'ailleurs :

$$\left.\begin{aligned} &\int_0^a d\sigma = \pi a^2, \\ &\int_0^a E d\sigma = E\int_0^a d\sigma = \pi a^2 E, \\ &I = \int_0^a u\, d\sigma, \\ &R = \frac{\rho l}{\pi a^2}. \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

Si de plus nous désignons par Φ_m le flux de force moyen à travers la section totale du fil, nous aurons par définition :

$$\Phi_m = \frac{1}{\pi a^2}\int_0^a \Phi\, d\sigma.$$

(1) Voir *L'Électricien*, nos 355 (1er février 1890) et 359 (1er mars 1890), et les *Annales Télégraphiques*, numéros de mai-juin, juillet-août et septembre-octobre 1890.

(2) Voir *Annales Télégraphiques*, septembre-octobre 1895

Multiplions dès lors les deux membres de l'équation (11) par $d\sigma$, intégrons de o à a et divisons les deux membres par πa^2, il viendra immédiatement :

$$E = RI + \mu \frac{d\Phi_m}{dt}, \tag{13}$$

Telle est l'équation fondamentale de la force électromotrice. Il ne reste plus qu'à déterminer Φ_m, et le problème sera résolu.

Essayons de développer la densité de courant suivant les puissances croissantes du rayon. On voit bien vite que tous les termes de rang impair disparaissent et qu'on peut écrire :

$$u = u_0 + u_1 r^2 + u_2 r^4 + \ldots + u_n r^{2n} + = \sum_0^\infty u_n r^{2n}.$$

Nous aurons à vérifier que cette série [1] est convergente :

Si C désigne le courant total à travers un cylindre de rayon r, nous aurons évidemment :

$$C = \int_0^r u d\sigma = \pi \int_0^r 2\, u r dr = \pi \int_0^r u dr^2,$$

d'où, en effectuant l'intégration :

$$C = \pi r^2 \sum_0^\infty \frac{u_n}{n+1} r^{2n}. \tag{14}$$

Calculons maintenant le flux de force. Les lignes de force sont sensiblement circulaires dans la section du conducteur, d'après les conditions mêmes que nous avons imposées au champ extérieur. Si donc on considère un filet cylindrique de section :

$$d\sigma = 2\, \pi r dr,$$

que f soit la force magnétique en un point et Φ_a le flux de force des tubes extérieurs au conducteur total, on a en appliquant les propriétés élémentaires des tubes de force :

$$\Phi = \Phi_a + \int_r^a f l dr. \tag{15}$$

Or le travail de la force f, restant tangente au cercle de rayon r, est :

$$f \times 2\pi r$$

Ce travail a également pour expression $4\pi C$, quelles que soient la nature du milieu et la distribution du courant, ainsi qu'on le voit immédiatement par l'assimilation des courants aux feuillets magnétiques.

Donc :

$$f \times 2\pi r = 4\pi C$$

ou :

$$f = \frac{2C}{r}.$$

Si nous remplaçons dans l'équation (15) f par cette valeur et que nous faisions les calculs, il vient :

$$\Phi = \Phi_a + \int_r^a \frac{2C}{r} l dr = \Phi_a + \pi a^2 l \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)^2} a^{2n} - \pi r^2 l \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)^2} r^{2n}. \tag{15'}$$

Ceci posé, rien de plus facile que de calculer Φ_m :

$$\Phi_m = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^a \Phi d\sigma = \frac{1}{a^2} \int_0^a \Phi dr^2.$$

D'où, en tenant compte de la réduction :

$$\frac{1}{(n+1)^2} - \frac{1}{(n+1)^2(n+2)} = \frac{n+1}{(n+1)^2(n+2)} = \frac{1}{(n+1)(n+2)},$$

la valeur de Φ_m :

$$\Phi_m = \Phi_a + \pi a^2 l \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)(n+2)} a^{2n}.$$

Si la densité de courant était uniforme, on aurait :

$$\pi a^2 u_0 = I,$$
$$u_1 = u_2 = \ldots = u_n = \ldots = 0.$$

[1] Les séries que nous aurons à calculer plus loin intervenant dans des formules très compliquées d'aspect, nous employons dès à présent le symbole Σ; on sait que le symbole $\sum_a^b F(n)$ indique qu'on fait la somme algébrique de tous les termes de la forme $F(n)$ dans lesquels on donne à la variable n toutes les valeurs entières (si n représente comme ici un nombre entier quelconque) depuis a jusqu'à b, y compris a et b.

Dans ce cas $\mu\Phi_m$ ne serait autre que LI, comme le montre le rapprochement entre les formules (2) et (13).

C'est d'ailleurs la véritable définition de la self-inductance ; et l'on aurait :

$$LI = \mu\Phi_a + \frac{\mu\pi a^2 l u_0}{2} = \mu\Phi_a + \frac{\mu l}{2} I.$$

D'où :

$$\mu\Phi_a = \left(L - \frac{\mu l}{2}\right) I. \qquad (18)$$

Or Φ_a étant indépendant de la distribution du flux magnétique à l'intérieur du conducteur, la valeur (16) s'applique encore au cas de la formule (13) et nous aurons pour la force électromotrice l'expression :

$$E = RI + \left(L - \frac{\mu l}{2}\right) \frac{dI}{dt} + \mu\pi a^2 l \frac{d}{dt} \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)(n+2)} a^{2n}. \qquad (13')$$

Il ne nous reste plus qu'à remplacer u_0, u_1... par leurs valeurs en fonction du courant total I et de ses dérivés.

Or I est la valeur du courant C quand r devient égal à a; donc :

$$I = \pi a^2 \sum_0^\infty \frac{u_n}{n+1} a^{2n}. \qquad (14)$$

De plus, la chute de potentiel le long d'un filet, qui est :

$$E = \rho l u + \mu \frac{d\Phi}{dt}, \qquad (10)$$

est indépendante de la position de ce filet ; par suite, l'expression :

$$\rho l \sum_0^\infty u_n r^{2n} + \text{const.} - \mu\pi r^2 l \frac{d}{dt} \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)} r^{2n}.$$

devra être indépendante de r, ce qui donne les équations de condition :

$$\rho u_1 - \mu\pi \frac{du_0}{dt} = 0,$$

. . . .

$$\rho u_n - \frac{\mu\pi}{n^2} \frac{du_{n-1}}{dt} = 0.$$

Par conséquent [1] :

$$u_n = \frac{1}{(n!)^2} \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{d^n u_0}{dt^n}. \qquad (17)$$

Posons, pour simplifier l'écriture :

$$\frac{\mu\pi a^2}{\rho} = \varpi. \qquad (18)$$

Nous obtiendrons pour I la valeur :

$$I = \pi a^2 \sum_0^\infty \frac{\varpi^n}{n!(n+1)!} \frac{d^n u_0}{dt^n}. \qquad (14'')$$

De cette expression, il est facile de tirer u_0 en fonction de I et de ses dérivées. Les calculs se compliquant rapidement lorsque l'ordre des dérivées jusqu'auquel on pousse augmente nous nous bornerons, par exemple, aux dérivées du quatrième ordre. Nous aurons dès lors :

$$\left.\begin{aligned}
\frac{I}{\pi a^2} &= u_0 + \frac{\varpi}{2}\frac{du_0}{dt} + \frac{\varpi^2}{12}\frac{d^2u_0}{dt^2} + \frac{\varpi^3}{144}\frac{d^3u_0}{dt^3} + \frac{\varpi^4}{2880}\frac{d^4u_0}{dt^4} + \ldots \\
-\frac{\varpi}{2\pi a^2}\frac{dI}{dt} &= -\frac{\varpi}{2}\frac{du_0}{dt} - \frac{\varpi^2}{4}\frac{d^2u_0}{dt^2} - \frac{\varpi^3}{24}\frac{d^3u_0}{dt^3} - \frac{\varpi^4}{288}\frac{d_4u_0}{dt^4} - \ldots \\
\frac{\varpi^2}{6\pi a^2}\frac{d^2I}{dt^2} &= +\frac{\varpi^2}{6}\frac{d^2u_0}{dt^2} + \frac{\varpi^3}{12}\frac{d^3u_0}{dt^3} + \frac{\varpi^4}{72}\frac{d^4u_0}{dt^4} + \ldots \\
-\frac{7\varpi^3}{144\pi a^2}\frac{d^3I}{dt^3} &= -\frac{7\varpi^3}{144}\frac{d^3u_0}{dt^3} - \frac{7\varpi^4}{288}\frac{d^4u_0}{dt^4} - \ldots \\
\frac{13\varpi^4}{960\pi a^2}\frac{d^4I}{dt^n} &= +\frac{13\varpi^4}{960}\frac{d^4u_0}{dt^4} + \ldots
\end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

En faisant la somme de ces équations, on arrive à la formule :

$$\pi a^2 u_0 = I - \frac{\varpi}{2}\frac{dI}{dt} + \frac{\varpi^2}{6}\frac{d^2I}{dt^2} - \frac{7\varpi^3}{144}\frac{d^3I}{dt^3} + \frac{13\varpi^4}{960}\frac{d^4I}{dt^4} - \ldots \qquad (19)$$

[1] Nous employons pour simplifier l'écriture la notation *factorielle de n* qui exprime le produit des n premiers nombres entiers $n! = 1, 2, 3 \ldots (n-1).n.$

On aura donc

$$(n!)^2 (n+1) = 1^2, 2^2, 3^2 \ldots (n-1)^2 n^2 (n+1) = 1, 2, 3 \ldots (n-1) n. 1, 2, 3 \ldots, (n-1) n (n+1) = n! (n+1)!$$

**

Le calcul pourrait évidemment être conduit de la même manière jusqu'à une dérivée de I d'ordre quelconque. Remplaçons u_0 et ses dérivées par la valeur (19) et ses dérivées ; il viendra finalement :

$$E = RI + L\frac{dI}{dt} - \mu l\left[\frac{\varpi}{12}\frac{d^2I}{dt^2} - \frac{\varpi^2}{48}\frac{d^3I}{dt^3} + \frac{\varpi^3}{180}\frac{d^4I}{dt^4} - \frac{13\varpi^4}{8640}\frac{d^5I}{dt^5} + \ldots\right]. \qquad (13'')$$

Telle est l'expression cherchée de la force électromotrice.

III. Cette formule est de la plus haute importance dans bien des cas. Supposons un conducteur formant circuit fermé, de capacité électrostatique supposée nulle, qui n'est parcouru par aucun courant et dans lequel on introduit brusquement une force électromotrice constante E.

Au bout d'un temps plus ou moins long, le conducteur sera parcouru par un courant sensiblement constant dont l'intensité est donnée par la formule (1) :

$$I = \frac{E}{R},$$

Plus rigoureusement, quand on veut étudier l'état variable, on applique la formule (2) et en l'intégrant on arrive immédiatement à la formule usuelle :

$$I = \frac{E}{R}\left[1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right]. \qquad (20)$$

Cette formule qui est admise comme représentant l'état variable est évidemment inexacte puisqu'il aurait fallu partir de la formule (13'') au lieu de la formule (2). Cherchons quelle est l'erreur commise en nous bornant tout d'abord aux trois premiers termes :

$$E = RI + L\frac{dI}{dt} - \frac{\mu\varpi l}{12}\frac{d^2I}{dt^2}. \qquad (13''')$$

Nous avons affaire à une équation linéaire à coefficients constants. Désignons donc par S et S′ les racines de l'équation du second degré :

$$\frac{\mu\varpi l}{12}S^2 - LS - R = 0.$$

Soit :

$$\left.\begin{matrix} S \\ S' \end{matrix}\right\} = \frac{L \pm \sqrt{L^2 + \frac{\mu\varpi l R}{3}}}{\frac{\mu\varpi l}{6}}.$$

Remarquons que :

$$\mu\varpi l = \frac{\mu^2\pi a^2 l}{\rho} = \frac{\mu^2 l^2}{R}.$$

Dès lors nous pouvons écrire :

$$\left.\begin{matrix} S \\ S' \end{matrix}\right\} = 6R\frac{L \pm \sqrt{L^2 + \frac{\mu^2 l^2}{3}}}{\mu^2 l^2}.$$

et en désignant par K_1, K_2 deux constantes arbitraires, la valeur de l'intensité sera :

$$I = \frac{E}{R} + K_1 e^{st} + K_2 e^{s't}.$$

Or l'une des racines S et S′ est positive, et donnerait pour l'intensité une valeur indéfiniment croissante avec le temps. Cette racine ne convient donc pas et il y a lieu de prendre seulement la racine négative S. En tenant compte de la condition initiale que l'intensité est nulle à l'origine des temps, il vient :

$$I = \frac{E}{R}[1 - e^{-st}]. \qquad (21)$$

Supposons, comme c'est presque toujours le cas, que l'on ait :

$$L\sqrt{3} > \mu l,$$

On pourra dès lors développer le radical en série et l'on aura :

$$\sqrt{L^2 + \frac{\mu^2 l^2}{3}} = L\sqrt{1 + \frac{\mu^2 l^2}{3L^2}} = L\left[1 + \frac{\mu^2 l^2}{6L^2} - \frac{\mu^4 l^4}{72L^4} + \frac{\mu^6 l^6}{432L^6} - \ldots\right].$$

et la valeur de *s* deviendra :

$$S = -\frac{R}{L}\left[1 - \frac{1}{12}\frac{\mu^2 l^2}{L^2} + \frac{1}{72}\left(\frac{\mu^2 l^2}{L^2}\right)^2 - \ldots\right]. \quad (22)$$

Elle ne diffère de l'expression généralement admise que par un terme correctif dont la valeur dépend du paramètre $\frac{\mu l}{L}$.

Si ce paramètre est assez petit pour que la

série entre crochets ne diffère pas sensiblement de l'unité, par exemple si l'on a :

$$\left.\begin{array}{c} L = 20\,l, \\ \mu = 1, \\ \frac{1}{12}\frac{\mu^2 l^2}{L^2} = \frac{1}{4800}, \end{array}\right\}$$

on peut admettre que l'état variable est très suffisamment représenté par la formule (20) et par conséquent que l'emploi de la formule (2) est absolument licite.

Si on prend au contraire les valeurs :

$$\left.\begin{array}{c} L = 120\,l, \\ \mu = 100, \end{array}\right\}$$

on trouve pour la valeur de S :

$$S = -\frac{R}{L}\left[1 - \frac{1}{17} + \frac{1}{220} - \ldots\right].$$

La formule (2) n'est plus suffisante dans ce cas, mais l'emploi du premier terme de correction donnant une approximation admissible, la formule (13‴) peut être employée sans qu'il soit nécessaire de prendre d'autres termes du développement de E dans la formule (13″).

Si au contraire $\frac{\mu l}{L}$ se rapprochait davantage de l'unité, non seulement il ne suffirait pas de prendre un nombre de termes plus considérable dans le développement (22) mais encore on ne pourrait plus admettre que la formule (13‴) soit suffisante et on devrait prendre un nombre plus ou moins grand de termes de la formule (13″), ce qui amènerait à résoudre les équations algébriques de degré supérieur.

Cette question est très importante et peut s'appliquer à divers problèmes où l'on part de l'équation (2), tels que la propagation du courant sur une ligne télégraphique et la décharge oscillante d'un condensateur.

IV. Nous laisserons de côté sans les approfondir ces applications d'un caractère plus particulièrement théorique pour nous borner à étudier le régime permanent d'un courant périodique simple (soit téléphonique, soit alternatif industriel) de période $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Dans ce cas on a :

$$\frac{d^2 I}{dt^2} = -\omega^2 I,$$

et l'équation (13″) devient :

$$E = \left[R + \mu l\left(\frac{\varpi}{12}\omega^2 - \frac{\varpi^3}{180}\omega^4 + \ldots\right)\right]I + \left[L - \mu l\left(\frac{\varpi^2}{48}\omega^2 - \frac{13\,\varpi^4}{8640}\omega^4 + \ldots\right)\right]\frac{dI}{dt}. \qquad (23)$$

c'est-à-dire qu'on peut, comme nous l'avons annoncé au début, employer la formule (2) en remplaçant la résistance et la self-inductance statiques par une résistance et une self-inductance effectives dont l'expression est

$$R_1 = R + \mu\varpi l\omega^2\left[\frac{1}{12} - \frac{\varpi^2\omega^2}{180} + \ldots\right],$$

$$L_1 = L - \mu\varpi^2 l\omega^2\left[\frac{1}{48} - \frac{13\,\varpi^2\omega^2}{8640} + \ldots\right].$$

Ce sont ces formules très importantes que nous allons étudier.

Si nous remarquons que :

$$\mu l = \varpi R, \qquad (18')$$

et si nous posons :

$$\varpi\omega = \alpha, \qquad (24)$$

les expressions de la résistance et de la self-inductance effectives prendront la forme

$$\left.\begin{array}{l} R_1 = R\left[1 + \frac{\alpha^2}{12} - \frac{\alpha^4}{180} + \ldots\right], \\ L_1 = L - \mu l\left[\frac{\alpha^2}{48} - \frac{13\,\alpha^4}{8640} + \ldots\right]. \end{array}\right\} \qquad (25)$$

Faisons quelques applications de ces formules. Considérons d'abord une ligne à circuit métallique fermé en fil de cuivre de 4,5 mm parcourue par des courants téléphoniques de 500 périodes. Nous aurons sensiblement

$$\mu = 1, \quad R = 10000\,l, \quad \omega = 3000, \quad \alpha = 0{,}3.$$

D'où :

$$R_1 = R\,[1 + 0{,}0075 - 0{,}000045 + \ldots],$$

$$L_1 = L - 0{,}0019 + 0{,}000012 - \ldots$$

L'altération de la résistance est inférieure à 1 p. 100 ; celle de la self-inductance est encore moindre.

Mais supposons que nous ayons affaire à une ligne en fil de fer de 6 mm parcourue par les mêmes courants. Nous aurons sensiblement

$$\mu = 100, \quad R = 45\,000\, l, \quad \omega = 3\,000, \quad \alpha = 6{,}67.$$

D'où :

$$R_1 = R\,[1 + 3{,}73 - 10{,}97 + \ldots],$$
$$L = L_1 - l\,[92 - 290 + \ldots].$$

Les séries paraissent divergentes. Nous reviendrons plus loin sur ce cas.

Considérons maintenant un câble d'énergie de 200 mm² de section parcouru par des courants de 166 périodes par exemple. La résistance par quadrant terrestre sera d'environ 800 ohms et on aura :

$$\mu = 1, \quad R = 800\, l, \quad \omega = 1\,000, \quad \alpha = \frac{5}{4}.$$

D'où :

$$R_1 = R\,[1 + 0{,}13 - 0{,}01 + \ldots] = 1{,}12\, R,$$
$$L_1 = L - 0{,}03 + \ldots$$

L'augmentation de résistance et par conséquent de perte d'énergie sera donc de 12 p. 100.

Si on pousse la section jusqu'à 1 000 mm² on a :

$$\alpha = \frac{5}{4} \times \frac{10\,000}{200} = 6{,}25,$$

et les séries R_1 et L_1 paraîtront encore divergentes.

Il est donc nécessaire de reprendre notre démonstration et de la diriger d'une manière un peu différente pour le cas d'un courant périodique simple.

De la condition :

$$\frac{d^2 I}{dt^2} = -\omega^2 I,$$

on déduit immédiatement :

$$\frac{d^2 u_n}{dt^2} = -\omega^2 u_n,$$

quel que soit n.

Dès lors l'intensité I pourra se mettre sous la forme :

$$I = \pi a^2 \left[\sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n}}{(2n)!\,(2n+1)!}\, u_0 + \frac{1}{\omega} \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n+1}}{(2n+1)!\,(2n+2)!} \frac{du_0}{dt} \right]. \qquad (26)$$

Posons pour simplifier l'écriture :

$$\left. \begin{aligned} A &= \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n+1}}{(2n)!\,(2n+1)!}, \\ B &= \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n+2}}{(2n+1)!\,(2n+2)!}. \end{aligned} \right\} \qquad (27)$$

Il importe tout d'abord pour légitimer les calculs ordinaires sur ces séries infinies, de démontrer qu'elles sont absolument et uniformément convergentes.

Or si on ajoute à la série des modules des termes de A la série des modules des termes de B, on obtient une nouvelle série dont la forme est

$$\sum_0^\infty \frac{\alpha^{n+1}}{n!\,(n+1)!}.$$

Chacun des termes de cette série est égal au terme de même rang du développement de e^α multiplié par le facteur $\frac{1}{n!}$ qui est toujours plus petit que 1 dès que n dépasse l'unité. Donc cette série est *uniformément* convergente. Comme elle a tous ses termes positifs, il en résulte qu'*a fortiori* les séries des modules des termes de A et B seront *uniformément* convergentes, c'est-à-dire que A et B sont *absolument et uniformément* convergentes.

Nous pourrons dès lors écrire :

$$I = \frac{\pi a^2}{\alpha} \left[A u_0 + \frac{B}{\omega} \frac{du_0}{dt} \right], \qquad (26')$$

et nous en déduisons immédiatement :

$$\frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} = \frac{\pi a^2}{\alpha} \left[\frac{A}{\omega} \frac{du_0}{dt} - B u_0 \right],$$

d'où :

$$(A^2 + B^2)\, u_0 = \frac{\alpha}{\pi a^2} \left[A I - \frac{B}{\omega} \frac{dI}{dt} \right]. \qquad (28)$$

De même la formule (13') peut s'écrire :

$$E = RI + \left(L - \frac{\mu l}{2}\right)\frac{dI}{dt} + \mu\pi a^2 l$$

$$\left[\frac{du_0}{dt}\sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n}}{(2n)!\,(2n+2)!} + \omega u_0 \sum_0^\infty \frac{(-1)^{n+1}\alpha^{n+1}}{(2n+1)!\,(2n+3)!}\right]$$

qu'on transforme aisément en la suivante :

$$E = RI + \left(L - \frac{\mu l}{2}\right)\frac{dI}{dt}$$

$$+ \mu\pi a^2 l \left[\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{B}{\alpha}\right)\frac{du_0}{dt} + \omega u_0 \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{A}{\alpha}\right)\right].$$

Remplaçons u_0 par sa valeur (28), il vient :

$$E = RI + \left(L - \frac{\mu l}{2}\right)\frac{dI}{dt} + \frac{\mu l\alpha}{A^2+B^2}\left\{\left[B\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{B}{\alpha}\right) + A\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{A}{\alpha}\right)\right]\omega I + \left[A\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{B}{\alpha}\right) - B\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{A}{\alpha}\right)\right]\frac{dI}{dt}\right\}.$$

et finalement, toutes réductions faites

$$E = R\alpha\frac{A\,dA + B\,dB}{(A^2+B^2)\,d\alpha}I + \left\{L - \mu l \times \left[\frac{1}{2} + \frac{B\frac{dA}{d\alpha} - A\frac{dB}{d\alpha}}{A^2+B^2}\right]\right\}\frac{dI}{dt}. \qquad (29)$$

De telle sorte que nous arrivons aux formules

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{R\alpha}{2}\frac{d}{d\alpha}\log(A^2+B^2), \\ L_1 &= L - \mu l\left[\frac{1}{2} + \frac{d}{d\alpha}\operatorname{arc\,tang}\frac{A}{B}\right]. \end{aligned}\right\} \qquad (30)$$

Il n'y aurait aucune difficulté à calculer les diverses séries qui entrent dans ces formules. Mais ces calculs seraient assez longs et il parait préférable de se reporter au travail de lord Kelvin, duquel on peut déduire aisément la valeur de $\frac{R_1}{R}$. Nous donnerons ensuite le moyen de calculer L_1 non moins aisément.

(*A suivre.*)

E. Brylinsky
Ingénieur des Télégraphes.

SUR LE DÉCALAGE DE PHASE PRODUIT PAR UN POLARISEUR
PARCOURU PAR UN COURANT ALTERNATIF

1. L'action d'un polariseur dans un circuit à courant alternatif paraît à première vue avoir une certaine analogie avec le phénomène de l'arc voltaïque [1]; en réalité la différence entre ces deux phénomènes est très grande.

Si l'ancienne hypothèse d'Edlund sur l'existence dans l'arc d'une certaine force contre-électromotrice et expliquant la chute brusque de tension dans l'arc à courant continu, parut tout d'abord confirmée dans les premières études faites sur l'arc à courant alternatif où l'on constata que les watts absorbés étaient plus ou moins inférieurs au produit des volts par les ampères indiquant ainsi un facteur de puissance inférieur à l'unité et par suite, semblait-il, un certain décalage, il est hors de doute maintenant qu'il n'existe aucune différence de phase entre la tension aux bornes de l'arc et le courant [2]. La raison en est que le rapport entre les watts perdus dans une portion de circuit sans induction et les volts-ampères n'est égal à 1 que dans le seul cas où la tension et le courant sont tous deux de même forme périodique et en coïncidence de

(1) On trouvera dans un travail du Dr Vogt une monographie complète des études sur l'arc; *Sammlung elektr. Vorträge*, vol. I, 1896.

(2) Voir Blondel, sur la détermination des courbes périodiques. (*Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 401, 1891), et nouvelles recherches sur l'arc à courant alternatif. (*Lumière Électrique*), t. XLIX, p. 501, 1893.

phase [1]. Or dans l'arc précisément la tension et le courant ont des formes très sensiblement différentes [2], aussi le rapport est-il assez éloigné de l'unité.

2. M. Mengarini [3] qui a étudié tout particulièrement l'effet produit par l'introduction d'un polariseur dans un circuit parcouru par un courant alternatif a déduit de l'inégalité des watts consommés et des watts apparents, l'existence d'une différence de phase entre la tension aux bornes des électrodes et l'intensité du courant.

Etant donné ce qui se passe pour l'arc, il était naturel de se demander si cette différence de phase existait réellement ou s'il n'y avait pas uniquement une déformation de l'une des courbes périodiques sans décalage de phase. C'est ce que fit M. Peukert [4] dans un travail sur l'électrolyse par courant alternatif.

Si on se reporte au cas du courant continu, le phénomène de la polarisation est indiscutable, tandis que dans le cas de l'arc la force contre-électromotrice est une simple hypothèse; l'analogie entre les deux cas paraît donc bien peu probable.

Néanmoins M. Peukert sans s'arrêter à ces considérations construisit par la méthode de M. Joubert les courbes périodiques de la différence de potentiel aux bornes et du courant dans un polariseur. Les courbes obtenues ne présentent bien aucun décalage tant lorsque les deux électrodes ont même surface que lorsqu'elles ont des surfaces très différentes; ces électrodes étaient soit en platine soit en charbon. M. Peukert y a ajouté, pour contrôle, celles des courants obtenus en remplaçant le polariseur par une bobine de self-induction ou par un arc; et donnant la première un certain décalage de phase et la seconde une coïncidence parfaite. On peut tout d'abord objecter à ces courbes que si elles ne présentent pas de décalage, elles ne donnent lieu non plus à aucune différence entre les watts réels et les watts apparents car elles sont non seulement de même forme mais encore par suite du type alternateur employé presque parfaitement sinusoïdales.

3. Le mémoire de M. Peukert fut du reste dès sa publication dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* l'objet d'une polémique dans ce même journal, laquelle n'est parvenue à ma connaissance qu'après que les expériences qu'on trouvera plus loin furent terminées.

Dans cette discussion M. Dolivo Dobrowolsky [1], rappelant l'influence d'une self-induction d'un condensateur ou d'un polariseur dans un circuit à courant alternatif, regrette que les données fournies par M. Peukert ne soient pas suffisantes pour déterminer la valeur de la tangente du décalage ou rapport des composantes des tensions quadratique et symphasique du courant. Il montre néanmoins que si la tension aux bornes des électrodes était de 50 volts et la force électromotrice moyenne de polarisation de 1,5 volt, on aurait eu :

$$\text{tang} = \frac{1.5}{50} = 0{,}03,$$

décalage impossible à constater par la détermination des courbes périodiques. De même que dans le cas d'une bobine de réaction le décalage est d'autant plus grand que la saturation du noyau est plus éloignée, de même dans le cas d'un polariseur l'auteur conseille, pour obtenir un plus grand décalage de phase, d'employer des dissolutions éloignées de leur point de saturation.

On doit également faire en sorte que la perte de tension dans la résistance soit très petite pour que la force contre-électromotrice de polarisation que nous appellerons souvent simplement la polarisation ait une influence plus grande.

M. Dolivo Dobrowolsky fait aussi remarquer que pour diminuer la perte de voltage dans la résistance de l'électrolyte, il ne faut

(1) Voir BLONDEL *Loc. cit.*, 1893.
(2) Voir BLONDEL. *Loc. cit.*, 1893.
(3) *Atti della reale Accademia dei Lincei*, série 4e, vol. VI.
(4) *Elektrotechnische Zeitschrift*, n° 23, 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 133, 20 juillet 1895.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, n° 25, 1895, et *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 269.

pas songer à augmenter la surface des électrodes; puisque la capacité de polarisation étant proportionnelle à cette dernière, la densité de courant resterait constante et avec

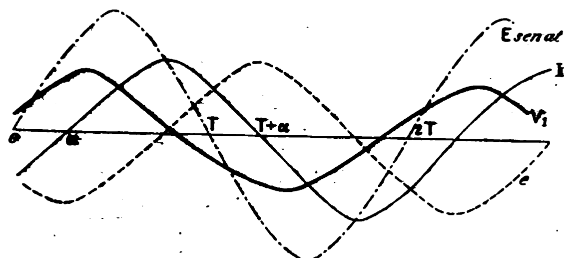


Fig. 1. — Courbes périodiques montrant l'effet d'une self-induction dans un circuit parcouru par un courant alternatif. E, différence de potentiel aux bornes ; I, intensité du courant ; *e*, force électro-motrice de self-induction.

elle la chute de tension dans la résistance. Il faut alors obtenir une augmentation de la conductibilité liquide.

4. MM. Elster et Oberbeck [1] firent observer que le problème en question avait déjà été résolu théoriquement et expérimentalement par Kohlrausch [2]. En réalité Kohlrausch n'a étudié que le cas de faible polarisation, tandis que les expériences de M. Peukert ont donné lieu à des polarisations importantes avec mises de ions en liberté, deux cas qui, comme nous verrons plus loin, il importe de distinguer.

Recherches théoriques.

5. En somme on voit par le résumé de la discussion que nous venons de donner que si M. Peukert n'a pas constaté de décalage de phase entre le courant et la tension dans un circuit contenant un polariseur, cela tient uniquement aux circonstances particulières dans lesquelles il s'est placé.

Je ne suis pas de l'avis de M. Dobrowolsky en ce qui concerne l'impossibilité de constater la différence de phase dont il parle par la méthode d'expérimentation employée par M. Peukert. En outre, la façon de s'exprimer du savant ingénieur peut laisser croire qu'un décalage appréciable entre la différence de potentiel aux bornes des électrodes d'un polariseur et le courant qui le traverse ne peut être obtenu lorsqu'il y a des produits de l'électrolyse mis en liberté.

Pour dissiper tout malentendu, ainsi que pour déterminer les conditions les plus convenables pour la mise en évidence du phénomène, j'ai tout d'abord recherché spécialement les différences de phase que l'on peut obtenir entre la différence de potentiel aux bornes et le courant alternatif traversant un circuit contenant une self-induction, un condensateur ou un polariseur. Les analogies entre ces différents cas sont purement extérieures et peuvent conduire à des résultats très divers dans la réalité.

J'ai ensuite repris les expériences de M. Peukert en suivant la même méthode que lui mais en adaptant le polariseur aux conditions du circuit.

Dans la théorie générale de l'électrolyse par courant alternatif que j'ai publiée il y a quelques années [1], et de laquelle MM. Peukert et Dobrowolsky ne paraissent pas avoir eu connaissance, j'ai démontré que la différence de potentiel aux bornes des électrodes avait, dans le cas où l'électrolyse ne se produit pas, c'est-à-dire lorsque l'électrolyte se décompose pendant une demi-période pour se recomposer pendant la demi-période suivante, une forme périodique complètement différente de celle correspondant au cas où le phénomène est accompagné d'une mise en liberté de ions. Dans le premier, la force électromotrice de polarisation est inférieure ou égale à la tension agissante et la courbe représentant les différences de potentiel aux bornes est décalée exactement d'un quart d'onde en arrière de celle du courant si la résistance du polariseur est négligeable. La courbe périodique

[1] Lettres à la rédaction : Zur Elektrolyse mit Wechselstrom, *Elektrotechnische Zeitschrift*, n° 28, 1895.

[2] Ueber die e. m. k. sehr. dünner Gasschichten auf Metallplatten. *Pogen. Ann.*. *vol.* 148, 1873.

[1] Voir *Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 451 et 610, 1893. — *Journal de physique*, juillet 1893. — *The Electrician*, 7 juillet 1893. — *Beiblättern*, vol. 17 1893.

affecte alors la forme indiquée sur la figure 2 et est sensiblement de même nature que la différence de potentiel aux bornes de l'alternateur.

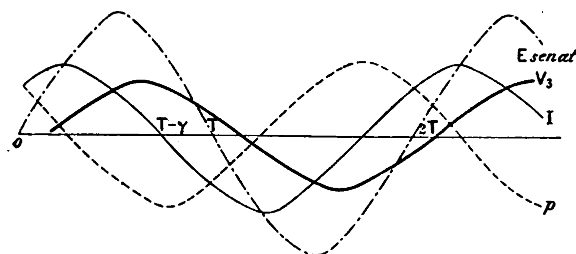


Fig. 2. — Courbes périodiques théoriques montrant l'effet d'un voltamètre parcouru par un courant alternatif dans le cas où il n'y a aucun dégagement de produits électrolytiques. E, différence de potentiel aux bornes ; I, intensité du courant ; p, force électromotrice de polarisation.

Dans le second cas au contraire la courbe périodique de la force électromotrice de polarisation indirecte affecte la forme de la figure 3, elle comprend deux parties rectilignes parallèles à l'axe des temps depuis l'époque τ' jusqu'à la fin de la demi-période.

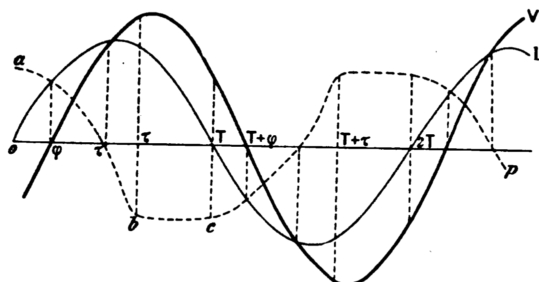


Fig. 3. — Courbes périodiques théoriques montrant l'effet d'un voltamètre parcouru par un courant alternatif dans le cas où l'électrolyse se produit.

Ces horizontales sont réunies par deux parties dont les zéros ont un décalage τ, supérieur à $\frac{\tau'}{2}$, par rapport au courant ; τ et τ' étant liés par les relations :

$$2\,sq_0 = \int_0^{\tau'} \mathrm{I}dt = 2\int_0^{\tau} \mathrm{I}dt,$$

où s est la surface, supposée égale, des deux électrodes et q_0 la quantité maxima d'électricité que le voltamètre peut emmagasiner par unité de surface des électrodes.

Dans ce cas la polarisation est encore décalée en avant du courant, mais ce décalage n'est plus égal à un quart de période, et sa valeur diminue et peut être considérablement réduite lorsque l'intensité du courant est très grande.

6. Rappelons rapidement les formules donnant l'intensité et la tension aux bornes d'une bobine de self-induction de résistance r_1 et de coefficient de self-induction L, placée dans un circuit de résistance totale r :

On sait que si la tension aux bornes du circuit est E sin ωt la valeur instantanée du courant est :

$$i = \frac{\mathrm{E}\cos\varphi}{r}\sin(\omega t - \alpha), \qquad (1)$$

avec :

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{\omega \mathrm{L}}{r},$$

Celle de la force contre-électromotrice de self-induction est :

$$e = -\mathrm{L}\frac{di}{dt} = -\mathrm{E}\sin\alpha\cos(\omega t - \alpha). \qquad (2)$$

Enfin la tension aux bornes de la bobine de réaction est :

$$\mathrm{V}_1 = ir_1 - e = \frac{\mathrm{E}\sin\alpha}{\sin\alpha_1}\sin(\omega t - \alpha + \alpha_1), \qquad (3)$$

avec :

$$\operatorname{tang}\alpha_1 = \frac{\omega \mathrm{L}}{r_1}.$$

Comme r_1 est toujours inférieur à r, on a constamment $\alpha_1 > \alpha$.

La méthode suivie par M. Peukert consistait à construire par points les courbes des valeurs instantanées de I et de V_1. La différence de phase α_1 entre ces deux courbes étant mesurée sur celles-ci, celle α entre la tension et le courant aux bornes du circuit sera donnée par

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{r_1}{r}\operatorname{tang}\alpha_1.$$

Comme de la valeur maxima I du courant on peut déduire celle E de la tension, on pourra donc déterminer, à l'aide des deux courbes précédentes, celle de la différence de potentiel aux bornes du circuit et celle de la force contre-électromotrice de self-induction.

Ces quatre courbes sont représentées sur la figure 1.

7. Passons au cas d'un condensateur de capacité C placé dans un circuit de résistance r.

Le courant est :

$$I = \frac{E \cos \beta}{r} \sin (\omega t + \beta), \qquad (4)$$

avec :

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{1}{\omega C r},$$

et la tension aux bornes du condensateur a pour valeur :

$$V_2 = E \sin \omega t - ir = - E \sin \beta \cos (\omega t + \beta). \qquad (5)$$

La détermination de i et de V'_2 permettra de construire la tension E aux bornes du circuit.

8. Arrivons enfin au cas d'un polariseur de résistance r_2 placé dans un circuit de résistance totale égale à r. Si l'on désigne par p la force contre-électromotrice de polarisation que nous supposerons éloigné de la valeur limite dont elle est susceptible, nous aurons :

$$E \sin \omega t + p = ri,$$

avec :

$$p = - h \int_0^t idt,$$

équations qui résolues, conduisent pour i à la valeur :

$$i = \frac{E \cos \gamma}{r} \sin (\omega t + \gamma), \qquad (6)$$

où γ est donnée par :

$$\operatorname{tang} \gamma = \frac{h}{\omega r}.$$

Si nous désignons par C la capacité du voltamètre, c'est-à-dire l'inverse de la force électromotrice de polarisation déterminée par le passage d'un coulomb, nous aurons :

$$Cdp = - idt,$$

et par suite :

$$h = \frac{1}{C}.$$

Quant à la valeur de p et de la différence de potentiel aux bornes des électrodes, elles seront :

$$p = E \sin \gamma \cos (\omega t + \gamma), \qquad (7)$$

$$V_3 = r_3 i - p = E \frac{\sin \gamma}{\sin \gamma_1} \sin (\omega t + \gamma - \gamma_1), \qquad (8)$$

avec :

$$\operatorname{tang} \gamma = \frac{1}{\omega C r} \quad \text{et} \quad \operatorname{tang} \gamma_1 = \frac{1}{\omega C r_3}.$$

Comme on a toujours $r_3 < r$, on a aussi $\gamma_1 > \gamma$.

La formule donnant la force électromotrice de polarisation n'est applicable, comme je l'ai démontré [1], que pour des valeurs assez faibles par rapport à la force électromotrice limite de polarisation ; les équations précédentes ne sont donc valables qu'avec cette restriction. Toutefois on a vu plus haut (§ 4) que tant que la polarisation du voltamètre est inférieure à la polarisation limite, sa courbe périodique est toujours décalée d'un quart d'onde en avant de celle du courant, on peut donc admettre, sauf légère correction des coefficients, que les équations (6) et (7) sont encore exactes pour des polarisations voisines de la valeur limite.

Je ferai également remarquer que la capacité de polarisation ne peut être considérée toujours comme proportionnelle à la surface des électrodes comme l'indique la formule de Kohlrausch. Ceci résulte de ce que la formule de Bartoli [2] peut se mettre sous la forme condensée :

$$p = 1 - \frac{1}{10^{\frac{m}{s}}},$$

pour des électrodes égales de surfaces données ; et pour des électrodes de surfaces doubles de la première on a :

$$p_1 = 1 - \frac{1}{a^2} \quad \text{et} \quad p_2 = 1 - \frac{1}{a}.$$

(1) *Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 451, 1893.

(2) *Nuovo Cimento*, 3e série, t. VII ; 1880.

***

La différence $p_1 - 2p_2$ a donc pour valeur :

$$p_1 - 2p_2 = -\left[\frac{a-1}{a}\right]^2,$$

qui montre que l'on a :

$$p_1 < 2p_2 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{p_2} < \frac{2}{p_1}.$$

La capacité de polarisation croît ainsi moins rapidement que la surface des électrodes lorsqu'il s'agit de valeurs voisines de la valeur limite.

Les formules (6), (7) et (8) conduisent donc aux conclusions suivantes :

I. La force électromotrice de polarisation d'un voltamètre, qui est toujours en avance d'un quart d'onde sur le courant est également en avance sur la tension aux bornes de l'alternateur et le décalage décroît avec l'augmentation de la capacité de polarisation, de la fréquence et de la résistance totale du circuit.

II. L'accroissement de ce décalage entraîne celui de l'amplitude maxima de la polarisation, mais diminue l'intensité maxima.

III. La différence de potentiel V_3 aux bornes du polariseur est en retard de phase tant sur la tension aux bornes du circuit total, que sur le courant, et le retard par rapport à ce dernier diminue lorsque la résistance du voltamètre augmente.

La figure 2 représente les quatre courbes de la tension aux bornes du circuit total, du courant, de la polarisation et de la tension aux bornes du polariseur.

9. Avant d'aborder par le calcul le cas où l'électrolyse se produit je ferai quelques remarques.

a. En premier lieu je ferait observer que l'affirmation de M. Mengarini [1] : « que la différence de potentiel aux bornes d'un polariseur parcouru par un courant alternatif est décalé en avant de l'intensité du courant comme elle l'est par l'effet de la self-induction », est inexacte. Si en effet le courant est en retard de phase sur la tension aux bornes dans un circuit inductif il est au contraire en avance lorsque la bobine de self-induction est remplacée par un voltamètre. L'erreur de M. Mengarini provient de ce que pour calculer la tension aux bornes il ajoute à la chute ohmique $r_3 i$ à la valeur de p au lieu de les retrancher comme l'indique la formule : $V_3 + p = r_3 i$.

b. Pour de faibles polarisations, la capacité étant proportionnelle à la surface des électrodes puisque la constante de la formule de Kohlrausch est $\frac{a}{s}$, a étant une constante, il en résulte que si l'on pose :

$$r = r_0 + r_3,$$

l'égalité :

$$\text{tang}\,\gamma = \frac{1}{\varphi\,Cr}, \quad = \frac{1}{2\pi n\,Cr}$$

en remarquant que l'on a :

$$r_3 = \frac{b}{s},$$

peut s'écrire :

$$\text{tang}\,\gamma = \frac{1}{2\pi n\,\frac{s}{a}\left(r_0 + \frac{b}{s}\right)} = \frac{a}{2\pi n\,(r_0 s + b)}.$$

toutes choses égales d'ailleurs, le décalage φ'' est donc d'autant plus grand que la surface s est plus petite.

Le décalage γ_1 entre le courant et la tension aux bornes du polariseur est défini par :

$$\text{tang}\,\gamma_1 = \frac{a}{2\pi nb}.$$

Le décalage γ_1 sera donc d'autant plus grand que b sera plus petit, c'est-à-dire que la distance entre les électrodes sera plus faible et la conductibilité de l'électrolyte plus grande.

c. Une troisième observation sera relative à la note de M. Dobrowolsky. Cet auteur dit que le rapport de la composante de la tension aux bornes du circuit, en quadrature

[1] MENGARINI. *Loc. cit.*, p. 15.

avec le courant, à la composante symphasique donne la tangente du décalage de phase entre cette tension et ce courant, c'est-à-dire dans notre cas tang α ou tang γ. Or en employant la méthode de M. Joubert pour la détermination des courbes périodiques, le décalage de phase qu'on obtient est non pas α ou γ mais α_1 ou γ_1. Les décalages considérés par M. Dobrowolsky ne sont pas à la vérité indépendants des vrais décalages α_1 et γ_1 existant entre la différence de potentiel aux bornes de la self-induction ou du voltamètre et le courant, mais ils sont toujours plus petits que ces derniers.

10. Arrivons enfin au cas où les produits de l'électrolyse peuvent être mis en liberté. Supposons pour plus de simplicité que l'intensité suive la loi sinusoïdale, la courbe périodique de la force contre-électromotrice du polariseur affecte la forme représentée sur la figure 3.

Le décalage de cette courbe par rapport à celle de l'intensité est déterminé par la condition donnée au paragraphe 4.

Soit ρ la résistance du voltamètre, V la tension à ses bornes, r la résistance du circuit, $E(t)$ la tension aux bornes de ce dernier, $i \sin \omega t$ le courant et e la polarisation, on a :

$$E(t) - V = i(r - \rho) \sin \omega t,$$
$$V + e = i\rho \sin \omega t.$$

Si donc on pouvait facilement exprimer e en fonction du temps on pourrait en déduire V et par suite le décalage entre cette tension et le courant.

Supposons qu'on laisse fixe $E(t)$ et qu'on diminue la résistance intérieure ρ en augmentant la surface des électrodes, la polarisation maxima sera atteinte un peu plus tard dans la demi-période, puisque la quantité d'électricité nécessaire pour *saturer* les électrodes sera en raison directe de leur surface, et que l'intensité du courant ne subira qu'une augmentation d'autant plus faible que la résistance du circuit sera plus grande par rapport à celle du polariseur. I ρ diminuera moins vite que e ne croît et, par suite les zéros de V retarderont un peu plus sur ceux de i. La quantité de produits libérés diminue.

Si au contraire la diminution de ρ s'obtient par augmentation de la conductibilité de l'électrolyte, seule l'intensité du courant augmentera la polarisation maxima restant constante la saturation sera obtenue plus tôt et τ sera diminué. Quant au décalage de phase il diminuera ou augmentera suivant l'importance de la décroissance de ρI, laquelle dépend du rapport de la résistance extérieure du circuit à la résistance du polariseur. Si la première est assez grande vis-à-vis de la seconde le décalage augmentera et les produits libérés aussi, quoique faiblement.

11. En résumé, l'étude théorique précédente montre que le décalage entre la tension aux bornes d'un polariseur et le courant qui le traverse est notable toutes les fois que la quantité d'électricité, qui traverse cet appareil pendant une période, n'est pas trop grande par rapport au double de celle qui est nécessaire pour amener la polarisation limite des électrodes.

(*A suivre.*)

Dr Riccardo Malagoli,
Professeur de physique à Modène (Italie).

COEFFICIENTS D'INDUCTION

MÉTHODE DE LORD RAYLEIGH

Quand on mesure, au pont de Wheatstone, une résistance présentant de la self-induction, le circuit de la pile étant *fermé après* celui du galvanomètre, on observe une élongation de ce dernier; le même phénomène se reproduit, en sens inverse, quand on *ouvre*

le circuit de la pile *avant* celui du galvanomètre. Ces deux élongations sont dues à la décharge d'une quantité d'électricité proportionnelle au coefficient de self-induction L et à l'intensité I.

Considérons le pont de Wheatstone de la

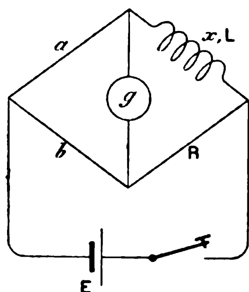


Fig. 1.

figure 1. Au moment où l'équilibre est obtenu on a, comme toujours,

$$\frac{a}{b} = \frac{x}{R};$$

mais la branche x a un coefficient de self-induction L, de telle sorte que si nous rompons brusquement le circuit de la pile, l'induction produit un courant et la quantité totale q, qui traverse la branche x, a pour valeur :

$$q = \frac{LI}{R_1},$$

en appelant R_1 la résistance totale du circuit vis-à-vis du courant engendré en x. Il est évident à la seule inspection de la figure, que les branches x et R sont parcourues par la quantité totale, tandis que la branche g n'en reçoit qu'une fraction ; le pouvoir multiplicateur du shunt ainsi formé étant :

$$m = \frac{g + a + b}{a + b},$$

la résistance R_1 peut s'écrire :

$$R_1 = x + R + \frac{g}{m}.$$

Le galvanomètre est traversé par une quantité q' :

$$q' = \frac{q}{m} = \frac{LI}{mR_1}.$$

Si, au moyen d'un galvanomètre balistique, on mesure la quantité q', on peut en déduire L ; cette méthode exige l'étalonnage préalable du galvanomètre. Dans la méthode de lord Rayleigh, on évite l'étalonnage par le moyen suivant ; toutes choses restant dans l'état précédent, on ajoute, à la branche x, une résistance r, assez petite pour ne pas modifier sensiblement l'intensité I ; cette résistance agit comme le ferait l'introduction en x d'une force électromotrice rI, c'est-à-dire envoie dans le circuit R_1 un courant i, dont une fraction i' seulement traverse le galvanomètre :

$$i' = \frac{i}{m} = \frac{rI}{mR_1}.$$

Le passage de q' dans le galvanomètre produit une élongation ε telle que

$$q' = \frac{T}{\pi} \frac{i_1}{d_1} e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}} \varepsilon.$$

D'autre part le courant i' produit une déviation permanente d,

$$i' = \frac{i_1}{d_1} d.$$

De ces quatre équations nous tirons :

$$L = \frac{T}{\pi} e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}} r \frac{\varepsilon}{d},$$

le coefficient cherché est alors simplement exprimé en fonction d'une résistance et d'un temps.

Deux solutions commodes se présentent pour effectuer cette mesure. Il faut prendre soit un galvanomètre faiblement amorti, de façon à pouvoir remplacer l'exponentielle par le facteur simplifié $\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$, soit un galvanomètre réglé à l'apériodicité critique ; cette dernière solution n'est applicable qu'avec les galvanomètres à cadre mobile.

Le mode opératoire consiste à mesurer d'abord très exactement la résistance x ; il est même nécessaire d'obtenir l'équilibre parfait du galvanomètre, ce qui exige parfois l'ad-

jonction, dans la branche x, d'un petit rhéostat à variation continue ; un simple bout de fil dont on fait varier la longueur, peut, au besoin, en tenir lieu. Sans changer le réglage, on rompt brusquement le circuit de la pile et on note l'élongation ε ; souvent pour augmenter la sensibilité ou éliminer l'influence de l'hystérésis, on renverse le sens du courant ; il faut alors introduire $\frac{\varepsilon}{2}$ au lieu de ε dans le calcul ; il est nécessaire, pour obtenir le renversement dans un temps très court, de se servir d'un inverseur à mercure analogue à celui de la figure 4. (*L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 446.)

Il est plus facile de produire le déréglage sur R que sur x, c'est ce que l'on fait généralement en faisant varier le rhéostat R d'une unité en plus ou en moins ; il suffit de calculer r :

$$r = R' \frac{a}{b},$$

et de noter d.

Pour obtenir de bons résultats il faut, autant que possible, donner à ε et à d des valeurs élevées, ce qui exige quelquefois pour R′ une valeur également élevée par rapport à R ; il faut se garder de tomber dans cet excès, car la précision obtenue d'un côté serait perdue de l'autre ; le meilleur moyen de contrôle dans ce sens consiste à vérifier la proportionnalité des déviations d aux déréglages R′.

Quand la sensibilité balistique du galvanomètre est trop grande, ε dépasse la longueur de l'échelle ; pour y remédier, il faut ajouter, dans la branche g, une résistance que l'on fait varier jusqu'à obtenir pour ε une valeur convenable ; le seul changement des bras de proportion a et b produit quelquefois un résultat suffisant. Un autre moyen, applicable aux galvanomètres à cadre mobile, consiste à charger le cadre de masses, destinées à augmenter son moment d'inertie.

Quand la sensibilité est trop faible, on a encore la ressource de changer a et b; on peut aussi augmenter I, mais cette solution n'est applicable qu'aux bobines sans fer, dans lesquelles le coefficient de self-induction est indépendant de l'intensité. La solution la plus générale, lorsqu'on fait usage des galvanomètres à aimants mobiles, consiste à changer la durée d'oscillation T, au moyen de l'aimant directeur.

Les galvanomètres à aimants mobiles ont un grand défaut pour ces mesures, ils sont influencés par le champ magnétique créé par la bobine, ce qui amène des erreurs, à moins de placer le galvanomètre très loin pour le soustraire à toute action perturbatrice. Pour obvier à cet inconvénient on emploie fréquemment les galvanomètres à cadre mobile.

Nous savons que l'amortissement de ceux-ci est une fonction de la résistance totale du circuit sur lequel ils sont fermés. Pour des résistances très grandes, relativement à la valeur critique, le décrément logarithmique λ est faible et peut être déterminé expérimentalement, ainsi que T ; on se trouve alors dans le même cas que ci-dessus, la même formule est applicable. Au contraire dès que la résistance approche de R_c, λ et T deviennent très difficiles à mesurer directement ; il faut alors déterminer, expérimentalement, la constante balistique K, par la décharge d'une quantité connue d'électricité q_1, de telle sorte que l'on ait une élongation ε_1 :

$$q_1 = K\varepsilon_1.$$

Il faut, en outre, déterminer la sensibilité en courant continu, c'est-à-dire la déviation d_1 produite par une intensité i_1. La mesure, faite comme précédemment, donne :

$$L = K \frac{d_1}{i_1} r \frac{\varepsilon}{d};$$

la mesure de T est remplacée par celle de d_1. Bien entendu la mesure de K doit être faite avec les mêmes résistances que celles employées pour ε et d.

Une solution plus commode, surtout quand les mesures de ce genre sont fréquentes, consiste à déterminer la résistance critique une fois pour toutes, puis à se replacer constamment dans les mêmes conditions, en in-

troduisant une résistance A ou un shunt S (fig. 2). Soit R_c la résistance critique obte-

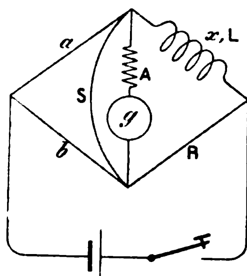


Fig. 2.

nue, la condition précédente sera remplie toutes les fois qu'on aura :

$$R_c = g + A + \left(\frac{1}{\frac{1}{S} + \frac{1}{x+R} + \frac{1}{a+b}} \right);$$

le coefficient de self est alors donné par :

$$L = \frac{T_0}{\pi} er \frac{\varepsilon}{d}.$$

Pour une seule mesure il faut évidemment calculer la valeur de A à employer, ou, mieux encore, il faut mettre des résistances telles que l'amortissement soit faible et mesurer λ. Pour des mesures répétées, il vaut mieux construire des courbes donnant, pour chaque valeur du rapport $\frac{a}{b}$ et de R, la valeur de A à employer; s'il y a lieu, on fait les mêmes courbes pour deux ou trois valeurs de S, choisies de manière à faire varier la sensibilité.

Ces courbes une fois établies simplifient beaucoup les opérations. Il suffit de mesurer exactement x et de chercher sur le graphique la valeur de A à employer; celle-ci introduite dans le circuit, on fait comme ci-dessus la mesure de ε et de d. Si la sensibilité n'est pas convenable, on essaye avec un autre rapport $\frac{a}{b}$ en introduisant la valeur correspondante de A.

Pour mesurer la self-induction des bobines ayant une très faible résistance, mais une constante de temps assez élevée, on peut appliquer la méthode de Rayleigh avec le pont de Thomson; un raisonnement analogue à celui que nous avons fait précédemment nous conduirait exactement au même résultat. La mesure se fait encore en observant l'élongation ε causée par la rupture du circuit de la pile, et la déviation d produite pour le déréglage R' du pont.

Pour employer un galvanomètre réglé à

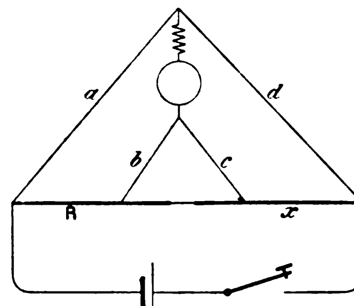


Fig. 3.

l'amortissement critique, il faut avoir (fig. 3) :

$$R_c = g + A + \frac{(a+b)(c+d)}{a+b+c+d},$$

en supposant R et x négligeables devant a, b, c et d. Il suffit de calculer pour chaque rapport la valeur unique de A à introduire dans le circuit.

Si la résistance d'amortissement est trop petite pour permettre le réglage de A, on prend une valeur constante à la place de R_c et on mesure, pour cette valeur, la constante balistique; on conserve ainsi l'avantage de simplifier les calculs en se replaçant toujours dans les mêmes conditions.

Les meilleurs résultats sont toujous obtenus à la *rupture* ou au *renversement* du courant.

La précision de la méthode de Rayleigh peut atteindre jusqu'à 0,3 ou 0,4 p. 100 lorsqu'on mesure une bobine *sans fer*, dont la constante de temps est assez élevée pour que la capacité des bobines de la boite de résistances soit négligeable.

Quand la bobine mesurée contient du fer, le résultat est plus exactement :

$$\frac{\Phi - \Phi_0}{I - I_0},$$

c'est-à-dire la variation du flux total, divisée par la variation du courant, de sorte que si on opère par simple rupture, on obtient, à cause de l'hystérésis, une valeur inférieure à celle donnée par le renversement. Le coefficient mesuré doit toujours être mis en regard de l'intensité avec laquelle il a été mesuré; pour connaître cette intensité, on introduit un ampèremètre dans le circuit de la pile et on calcule, par le rapport des résistances, le courant qui traverse la bobine elle-même.

La cause d'erreur la plus grave avec les bobines contenant du fer vient de la lenteur de la désaimantation, c'est-à-dire de l'hystérésis proprement dite, qui fait que le courant de décharge est souvent plus long que la durée de l'élongation du galvanomètre; quand le circuit magnétique et très fermé, ces mesures sont à peu près illusoires.

MÉTHODE DE PIRANI.

Parmi les nombreuses méthodes de comparaison des coefficients de self-induction aux capacités, celle imaginée par M. Pirani est l'une des plus simples.

Dans un pont de Wheatstone ordinaire, figure 4, on place, dans la branche x, la

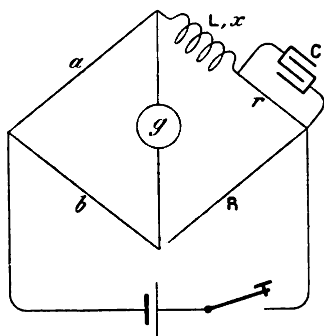


Fig. 4.

bobine de self-induction à mesurer, en série avec une autre résistance sans self-induction r; sur cette dernière se trouve en dérivation un condensateur C.

Quand l'équilibre en courant permanent est obtenu, c'est-à-dire quand :

$$\frac{a}{b} = \frac{x+r}{R},$$

l'ouverture ou la fermeture du circuit de la pile ne produisent aucune élongation du galvanomètre, à condition que l'on ait

$$L = Cr^2;$$

en effet, à ce moment, les quantités d'électricité envoyées dans le circuit par le condensateur et la self-induction sont égales et de signes contraires. (*L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 309).

Lorsqu'on dispose d'un condensateur subdivisé en fractions très petites, il suffit de donner à r une valeur approximativement convenable pour obtenir le réglage avec la capacité maximum; puis, après avoir fait l'équilibre en courant permanent, on fait varier C jusqu'à obtenir l'équilibre dans l'état variable.

Si on dispose seulement d'un condensateur non subdivisé, il faut faire varier r; à cet effet, on forme cette résistance au moyen d'un rhéostat étalonné et on introduit la valeur convenable en procédant par tâtonnements successifs; il faut à chaque variation de r refaire l'équilibre en courant constant.

MM. Vaschy et de la Touanne ont simplifié l'opération en en faisant une méthode de déviation. Les choses étant disposées comme ci-dessus, on observe l'élongation ε produite quand le condensateur C est en dérivation sur r; puis, retirant le condensateur seulement, on observe une nouvelle élongation ε'; le coefficient observé est :

$$L = Cr^2 \frac{\varepsilon'}{\varepsilon' - \varepsilon};$$

quand ε' est de sens opposé à ε, il faut prendre $\varepsilon' + \varepsilon$.

Ces méthodes sont applicables seulement aux bobines sans fer, ou du moins à celles dans lesquelles l'hystérésis est négligeable; de plus, il ne faut pas les employer pour les coefficients élevés, car les quantités développées par le condensateur et la self-induction sont bien égales pour une décharge complète, mais elles sont produites par des courants de *formes* différentes, de telle sorte que si la décharge

est lente par rapport à l'oscillation du galvanomètre, celui-ci peut recevoir une impulsion bien que l'équilibre soit atteint.

L'avantage de ces méthodes est de supprimer l'étalonnage du galvanomètre, mais la précision obtenue est assez faible dans la plupart des cas, 1 à 2 p. 100 environ.

COMPARAISON DE DEUX COEFFICIENTS DE SELF-INDUCTION

Quand deux branches adjacentes d'un pont de Wheatstone x et R (fig. 1), par exemple, présentent de la self-induction, l'équilibre du galvanomètre est obtenu, dans la période variable comme en courant continu, lorsqu'on a à la fois :

$$\frac{x}{R} = \frac{a}{b} \quad \text{et} \quad \frac{L_x}{L_R} = \frac{x}{R}.$$

Ce résultat peut être obtenu en plaçant, dans la branche R, des bobines dont la self-induction peut être réglée, ou bien au moyen d'une seule bobine de self-induction en faisant varier R et en rétablissant l'équilibre au moyen de a et b.

Les étalons de self-induction employés dans le premier cas sont de deux sortes : les uns, formés de bobines de dimensions convenables, peuvent être groupés au moyen de chevilles, comme les bobines de résistance ; les autres sont composés de deux bobines en tension dont l'action mutuelle fait varier le coefficient de self-induction.

Les bobines étalons de self-induction sont rarement faites supérieures à 0,1 henry ; elles sont enroulées sur une carcasse en bois, en ébonite ou en ardoise, jamais en métal pour les courants de Foucault ; leurs dimensions varient selon la résistance qu'on veut leur donner pour une self-induction déterminée ; comme il est avantageux, dans la plupart des cas, que cette résistance soit faible, on est conduit à donner à ces bobines des dimensions assez grandes.

On sait que, toutes choses égales d'ailleurs, la self-induction croît comme le carré du nombre de tours du fil enroulé sur la bobine ; par suite, des bobines de mêmes dimensions ont des résistances proportionnelles à leurs self-induction.

Les étalons de self-induction ne peuvent pas être déterminés en valeur absolue, il faut mesurer leur valeur au moyen d'une des méthodes précédentes ; dans ces conditions leur précision ne saurait être bien grande.

M. Brillouin avait indiqué autrefois l'emploi de deux bobines plates, concentriques, dont les plans sont susceptibles de faire un angle quelconque ; ces deux bobines, réunies en tension, ont un coefficient qui est égal à la somme des coefficients de self-induction des deux bobines, plus ou moins deux fois leur induction mutuelle, selon le sens des enroulements ; comme l'induction mutuelle est nulle quand les deux bobines sont à 90° et maximum quand elles sont parallèles, on peut, en faisant varier l'angle, faire varier aussi le coefficient de self-induction. L'étalon gradué de Ayrton et Perry n'est que la réalisation pratique de cette idée. Les deux bobines sont enroulées sur bois ou sur ébonite ; la plus petite tourne à l'intérieur de la plus grande, en entrainant un index dont la position sur un cadran divisé indique le coefficient cherché.

La mesure au moyen de cet étalon est assez simple. La bobine à mesurer est toujours placée en x, l'étalon est ajouté dans la branche R ; les branches a et b sont ou les bras de proportion d'une boite ordinaire, ou bien, lorsque les résistances sont faibles, les deux segments d'un pont à fil. L'équilibre permanent étant établi, on fait varier le coefficient de l'étalon et quand on a obtenu l'équilibre dans la période variable, on connait le coefficient cherché. Il est facile avec un seul étalon d'étendre le champ des mesures, il suffit de de faire varier le rapport $\frac{a}{b}$.

Quand on dispose d'une boite d'étalons de self-induction, la manœuvre est un peu plus compliquée, car il faut, à chaque introduction d'une nouvelle bobine, refaire l'équilibre en courant permanent. Il en est de même lorsque

possédant un seul étalon, on agit par variation de R; cette disposition s'applique très bien quand les bras de proportion sont pris sur un pont à fil, elle exige un étalon ayant une résistance très faible.

Ces méthodes s'appliquent particulièrement aux faibles coefficients d'induction, et la sensibilité du galvanomètre est souvent insuffisante; pour y remédier MM. Ayrton et Perry procèdent par répétition, au moyen d'un commutateur tournant auquel ils ont donné le nom de *secohmmètre* (fig. 5).

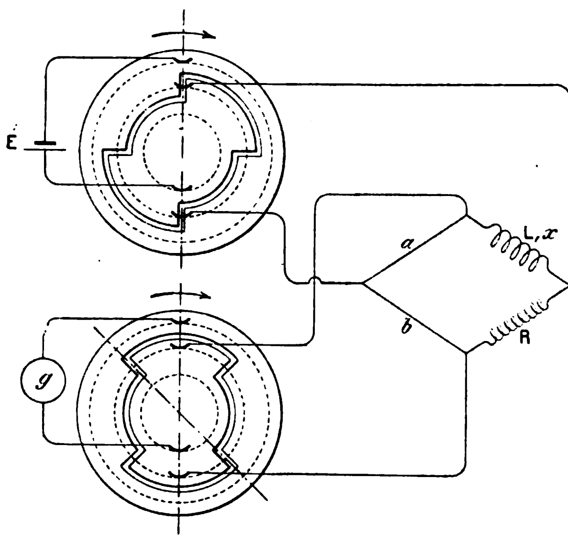


Fig. 5. — Schéma du secohmmètre.

Cet appareil se compose de deux commutateurs tournants, réunis sur un seul axe, auquel une manivelle imprime un mouvement de rotation au moyen d'engrenages convenables. Les deux commutateurs, représentés schématiquement par la figure 5, inversent périodiquement le sens du courant dans le circuit de la pile et dans celui du galvanomètre; ils sont décalés l'un par rapport à l'autre de façon à ce que l'inversion du courant ne se fasse pas au même moment dans les deux circuits. Quand les balais du commutateur de pile passent sur la coupure, l'inversion du courant se produit et une décharge est envoyée dans le galvanomètre; au renversement suivant la décharge est de sens opposé, mais comme les connexions du galvanomètre sont renversées, l'effet produit est de même sens, il s'ajoute au précédent.

D'une façon générale on augmente, par ce moyen, la sensibilité de la méthode, proportionnellement à la vitesse de rotation du commutateur, *pourvu, toutefois, que la vitesse soit assez petite pour que le courant puisse prendre son régime dans toutes les branches, ou à peu près.*

L'augmentation de sensibilité obtenue est d'autant plus grande que la durée d'oscillation et l'amortissement sont eux-mêmes plus grands.

L'emploi du secohmmètre est exact pour des vitesses quelconques, lorsqu'on compare les coefficients de self-induction de deux bobines sans fer; quand il y a du fer, il faut que celui-ci soit assez divisé pour ne pas apporter de troubles par l'hystérésis. Dans la méthode de Pirani, il ne faut employer le secohmmètre qu'avec des vitesses assez faibles, parce que la forme des courants de charge de la self-induction et du condensateur n'étant pas la même, il faut, pour obtenir des résultats concordants, laisser à ces deux parties le temps de se charger complètement; cet inconvénient n'est pas bien grand en pratique, car on ne se sert du secohmmètre que pour augmenter la sensibilité, c'est-à-dire quand $\frac{L}{R}$ est petit.

Dans toutes les méthodes de réduction à zéro, il est bien entendu que la vitesse de rotation de secohmmètre n'a pas besoin d'être constante.

EFFET DE LA CAPACITÉ DES BOBINES

La mesure des très petits coefficients de self-induction est rendue très délicate par la capacité des bobines de résistances employées; en effet, celle-ci correspond fréquemment à une self-induction négative, supérieure à celle que l'on observe. Il est nécessaire, lorsqu'on veut mesurer ces faibles valeurs, qui se rencontrent souvent dans l'étude des instruments destinés aux courants alternatifs, de faire la correction des effets des

capacités ou des self-induction des bobines de résistance employées.

Supposons que chacune des branches du pont de Wheatstone (fig. 1) présente une self-induction *apparente* l; les quantités q envoyées dans le galvanomètre sont, en employant la notation déjà utilisée,

$$q_a = \frac{l_a I_a}{m R_1}, \qquad q_b = \frac{l_b I_b}{m R_1},$$

$$q_x = \frac{l_x I_a}{m' R'_1}, \qquad q_R = \frac{l_R I_b}{m' R'_1}.$$

Or, l'équilibre étant déjà établi en courant permanent, il suffit, pour n'avoir pas de déviation au galvanomètre, à la rupture du circuit, que la somme algébrique de ces quantités soit nulle :

$$q_a + q_R - q_b - q_x = 0.$$

Comme, d'autre part, nous avons :

$$m = \frac{g + R + x}{R + x}, \qquad m' = \frac{g + a + b}{a + b},$$

$$R_1 = a + b + \frac{g}{m}, \qquad R'_1 = R + x + \frac{g}{m'},$$

et

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{b}{a},$$

nous obtenons :

$$l_a \frac{R}{b} + l_R \frac{a}{b} - l_x - l_b \frac{Ra}{b^2} = 0.$$

Appliquons cette formule à la méthode de Pirani, pratiquée au moyen d'une boîte dont les bobines présentent seulement de la capacité. Pour la branche x, l_x est de la forme

$$l_x = L - Cr^2,$$

car on peut négliger la capacité propre de r devant celle du condensateur mis en dérivation. Pour les autres branches, on a :

$$l_a = -C_a a^2, \qquad l_b = -C\ b^2, \qquad l_R = -C_R R^2.$$

Le coefficient cherché est alors :

$$L = C\ {}^2 + \left[C_b b^2 \frac{Ra}{b^2} - C_a a^2 \frac{R}{b} - C_R R^2 \frac{a}{b} \right].$$

Le terme de correction, entre les crochets, a souvent une très grande importance, surtout dans les mesures faites avec des valeurs élevées des résistances a, b et R ; pour le réduire, il faut employer, autant que possible, des résistances faibles et choisir de préférence un grand nombre de bobines pour former la même somme. Un moyen, très souvent applicable, consiste à prendre a et b égaux ; avec des bobines semblables, on a aussi $C_a = C_b$, l'équation devient :

$$L = Cr^2 - C_R R^2.$$

Il est facile d'appliquer le même calcul aux différentes méthodes pour les corriger, s'il y a lieu, de cette cause d'erreurs.

Pour appliquer ces corrections, il faut évidemment connaître C_a, C_b et C_R, ce que l'on peut obtenir par tous les moyens employés pour la self-induction. Le procédé suivant, assez facile à appliquer dans un laboratoire, donne des résultats suffisants dans la plupart des cas; il consiste à comparer la bobine à essayer, placée dans la branche R (fig. 4), à une résistance égale x, sans self, à laquelle se trouve ajoutée, en série, une petite résistance r avec un condensateur C. On prend pour faire cette mesure $a = b$, de façon à avoir directement

$$C_R R^2 = C_r r^2,$$

et on opère comme dans la méthode de Pirani.

La résistance de comparaison x doit avoir une self et une capacité négligeables, ce que l'on obtient assez bien, étant donnée la grandeur relative de $C_R R^2$, en constituant cette résistance avec un fil de maillechort très fin, placé sur une surface plane, une feuille de carton, par exemple, sur laquelle on l'enroule; de cette façon la self-induction est presque celle du fil droit, c'est-à-dire minimum, et la capacité tout à fait négligeable.

L'incertitude qui règne sur la valeur exacte du facteur CR^2 de chaque bobine employée, fait que l'on ne peut appliquer le terme de

correction avec sécurité, qu'autant que celui-ci est relativement faible.

MESURE DES COEFFICIENTS D'INDUCTION MUTUELLE

La méthode la plus simple est celle des élongations.

Le circuit secondaire de la bobine à mesurer est relié à un galvanomètre balistique, avec ou sans interposition d'une résistance. Le circuit primaire est relié, au moyen d'un inverseur, à la pile qui doit fournir le courant; une résistance R*h* pour faire varier l'intensité et un ampèremètre A*m* pour la mesurer, peuvent être, au besoin, intercalés dans le circuit (fig. 6).

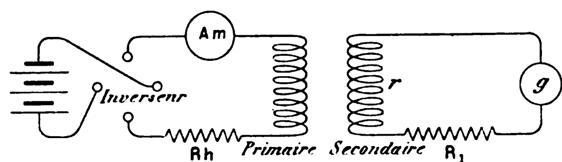


Fig. 6. — Induction mutuelle.

Soient : r la résistance du secondaire, R_1 la résistance de réglage et g celle du galvanomètre, L_m le coefficient d'induction mutuelle cherché, I l'intensité du courant. Si, au moyen du commutateur, nous renversons le sens du courant dans le primaire, la quantité d'électricité induite dans le secondaire a pour valeur

$$q = \frac{2 L_m I}{r + R_1 + g},$$

mais d'autre part :

$$q = K\varepsilon,$$

donc,

$$L_m = \frac{K\varepsilon(r + R_1 + g)}{2 I}.$$

Pour obtenir une élongation de grandeur convenable, on agit sur R_1; cependant, si la bobine ne contient pas de fer, on peut aussi faire varier I; dans le cas contraire, la perméabilité change avec l'intensité et il faut indiquer pour chaque valeur de L_m, l'intensité correspondante, comme on le fait d'ailleurs pour la self-induction.

Quand on fait usage d'un galvanomètre à aimant mobile, on détermine K, soit en mesurant T, λ et $\frac{i}{\alpha}$, soit, ce qui est plus simple dans ce cas, en déchargeant dans le galvanomètre une quantité $q_1 = CE$, fournie par un condensateur étalon. La méthode de Carey Foster réalise cet étalonnage en éliminant I et E. C'est une méthode de zéro, mais comme elle exige des réglages délicats, on peut la modifier comme il suit en lisant deux élongations ε et ε_1, du même ordre de grandeur.

L'ampèremètre est remplacé par une résistance connue R (fig. 7), et le condensateur chargé aux bornes de cette résistance donne,

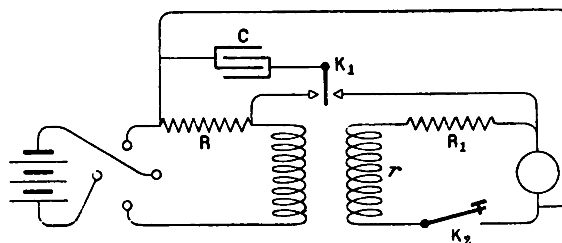


Fig. 7. — Méthode de Carey Foster.

$$q_1 = CRI = K\varepsilon_1.$$

En procédant encore par renversement de courant, on obtient :

$$L_m = \frac{CR}{2}(r + R_1 + g)\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}.$$

L'opération consiste à régler d'abord la résistance R pour obtenir une élongation ε_1 de grandeur convenable, par la décharge du condensateur; puis on règle ensuite R_1 de façon à obtenir, par l'inversion du courant I, une seconde élongation ε, de grandeur comparable à ε_1. Pour obtenir ε_1, on se sert de la clef de décharge K_1, en laissant K_2 ouvert; mais, quand on emploie un galvanomètre à cadre mobile, il faut, pour ne pas modifier l'amortissement, laisser K_2 fermé et remplacer r par une résistance égale mais

sans self-induction; on remplace alors ε_1, dans l'équation précédente, par :

$$\varepsilon_1 \frac{g + R_1 + r}{R_1 + r},$$

$$L_m = \frac{CR}{2} (R_1 + r) \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}.$$

Lorsque les mesures de ce genre se reproduisent fréquemment et quand on emploie un galvanomètre à cadre mobile, il est plus simple de dresser, une fois pour toutes, une table ou une courbe des valeurs de K qui correspondent à chaque valeur de la somme $(r + R_1 + g)$. Si le galvanomètre est bien installé à poste fixe, on gagne ainsi beaucoup de temps et les mesures sont plus concordantes entre elles.

Il arrive quelquefois que l'on a à mesurer des coefficients très élevés, qui nécessitent l'emploi de résistances R_1 également élevées; si l'on ne dispose pas des valeurs convenables, il vaut mieux shunter le galvanomètre, en ayant soin, si celui-ci est à cadre mobile, de tenir compte du shunt pour l'amortissement.

Quand la grande valeur de L_m est due à la présence d'une très grande masse de fer, il faut prendre un galvanomètre à très longue durée d'oscillation.

Au lieu de procéder par renversement complet du courant, on peut procéder par variation régulière, par échelons, en sautant brusquement d'une valeur à une autre de l'intensité; ce moyen permet, comme nous le verrons plus loin, de tracer des courbes d'hystérésis sur des appareils entièrement construits.

La précision de ces mesures est du même ordre de grandeur que celle des coefficients de self-induction; la présence du fer amène les mêmes complications et la même indécision.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Voltmètre électrostatique Kelly [1].

Les bornes L et M sont (fig. 1) reliées par a, a_1 et b, b_1 aux paires de quadrants AA'_1 et BB'_1, montés sur le tambour isolant C et séparés par les nervures C_1. L'aiguille D est formée de deux segments d'aluminium E et F, reliés à L par a_3, et leur axe H porte l'index K et les ressorts J à enroulements opposés réglables en O. L'aimant permanent S a son armature T disposée par rapport à E et F de manière à rendre l'appareil apériodique. Le tambour C permet de mesurer des voltages très élevés sans danger d'étincelles de l'aiguille aux quadrants, et sa capacité inductive considérable permet d'obtenir des attractions énergiques.

G. R.

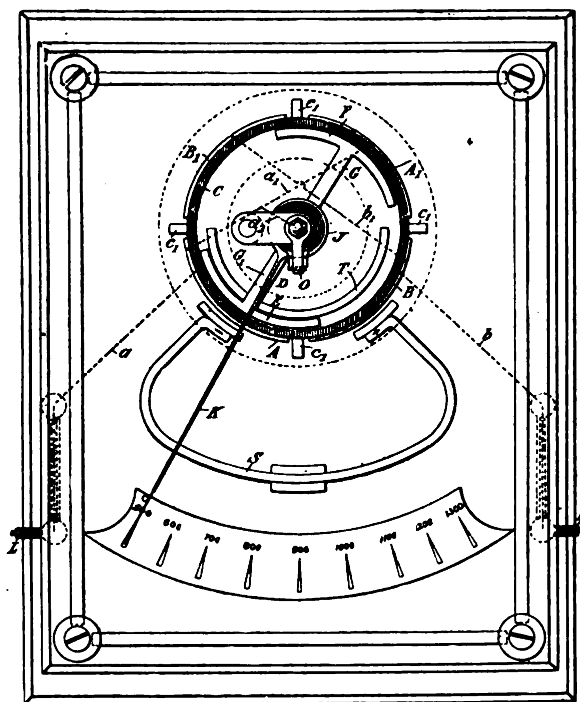


Fig. 1 — Voltmètre Kelly.

(1) Brevet américain, 574 739, 5 janvier 1897.

Fabrication des condensateurs Tesla [1].

Le condensateur est (fig. 1) placé dans un bac B, entouré d'un serpentin de vapeur C, enfermé dans une chambre A, étanche à l'air; entre B et A, on dispose la matière isolante, qui, une fois fondue, passe, par le tube D, en B. Une pompe E fait le vide en A par l'intermédiaire d'un condenseur F, où les vapeurs de l'isolant se condensent sans pouvoir atteindre E. Le vide fait en A, et E arrêté, on maintient ce vide en mettant A en rapport avec un récipient H, dans lequel on a fait le vide; puis, une fois le condensateur bien imprégné d'isolant, on remplace en C la vapeur par une circulation d'eau froide, et l'on comprime de l'air dans H de manière que la solidification de l'isolement se fasse sous une forte pression.

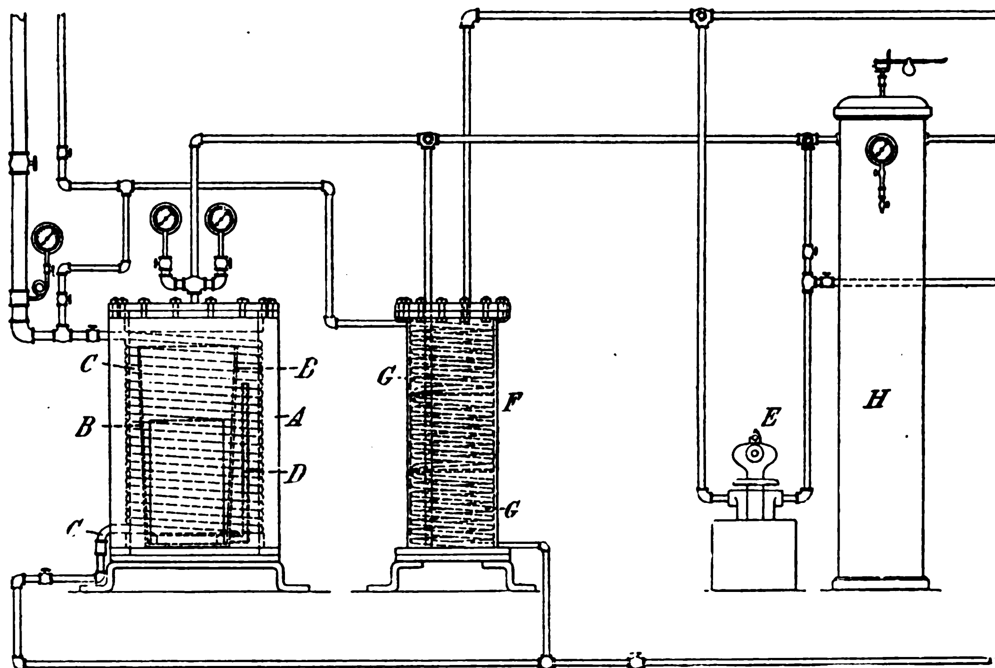


Fig. 1. — Fabrication des condensateurs Tesla.

On obtient ainsi un isolement sans traces d'air ou de gaz qui résiste très bien aux potentiels élevés et aux hautes fréquences. G. R.

Plombs fusibles Siemens et Halske [2].

Les plombs *s* sont (fig. 1 et 2) logés dans des rainures *l*, disposées en zigzag comme l'indique le développement (fig. 2), entre les plaques *k*, qui leur amènent le courant. On peut ainsi donner aux plombs une très grande longueur. Les vapeurs métalliques dégagées par leur fusion s'échappent par les évents *o* et ne peuvent atteindre les plaques *k*, protégées par les rebords *d* d_1 en ciment, comme le corps de l'appareil. G. R.

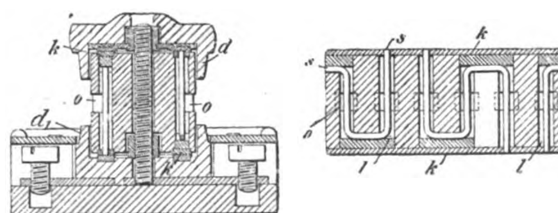


Fig. 1 et 2. — Plombs fusibles Siemens et Halske.

---

(1) Brevet américain, 577.671, du 23 février 1897.

(2) Brevet anglais, 3 472, 27 mars 1897.

Coupe-circuit automatique Harrington [1].

Tant que le courant ne dépasse pas son intensité normale, son passage de A en H,

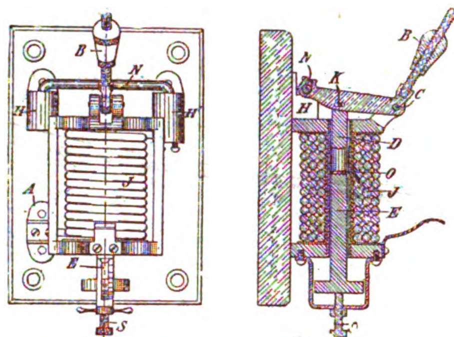


Fig. 1 et 2. — Coupe-circuit Harington.

H′N, au travers du solénoïde J maintient, par l'armature D, le bras N dans les coupes de mercure H et H′; mais, dès que le courant dépasse cette intensité, la seconde armature E, attirée de bas en haut, vient frapper D et rompre ce contact. Un bouton de bronze O empêche l'adhérence de E sur D, et le réglage se fait par la vis S.

De même, quand le courant tombe au-dessous de son intensité moyenne, le contrepoids B, pivoté en C, rompt aussi le contact N H. G. R.

Accumulateurs Julien [1].

L'électrode positive est (fig 1 à 4) constituée par la superposition de feuilles de plomb ondulées de manière à ménager l'accès de l'électrolyte nécessaire à la formation du

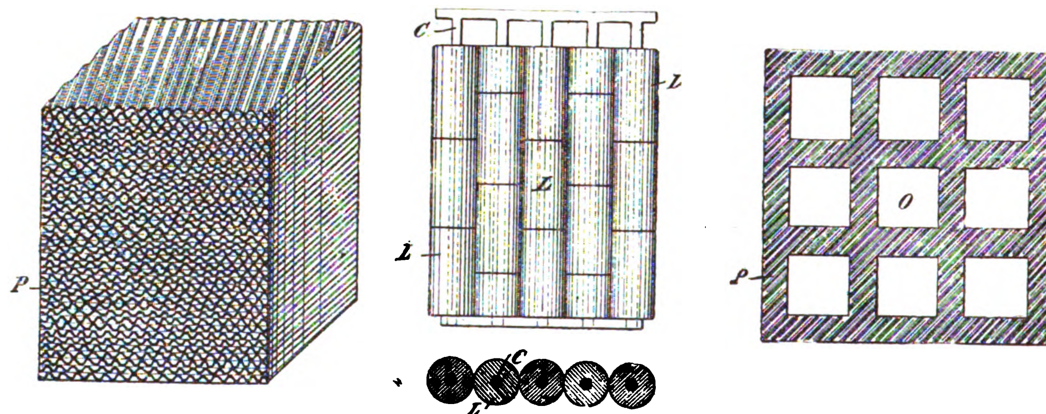


Fig. 1 à 4. — Accumulateurs Jullien.

peroxyde, qui peut être accélérée par une immersion préalable de ces feuilles dans une pâte fluide de matière active provenant d'anciens accumulateurs. Ces feuilles sont ensuite soudées par leurs bords à des bandes de plomb qui les enveloppent de manière à en constituer des blocs très actifs à grande surface et pratiquement indéformables.

Les électrodes négatives sont constituées par de la litharge coulée en forme de cylindres creux L (fig. 2 et 3) avec conducteurs C, enfilés à frottement suivant leurs axes, et logés eux-mêmes dans les compartiments prismatiques O, découpés dans les électrodes positives P (fig. 4). G. R.

(1) Brevet américain, 579 431, 23 mars 1897.

Empâtage des plaques d'accumulateurs, procédé C. Marschner [2].

Le principal inconvénient des accumulateurs à matière rapportée réside, comme on le sait, dans le peu d'adhérence de cette

(1) Brevet anglais, 21.956. 3 octobre 1896.

(2) Brevet anglais n° 12250, déposé le 4 juin 1896, délivré le 24 octobre 1896.

matière aux supports; le procédé indiqué dans ce brevet aurait pour effet, d'après l'auteur, sinon de l'éviter du moins de l'atténuer dans une assez large mesure. On fait dissoudre de l'ambre de qualité inférieure ou toute autre résine fossile dans de l'alcool ou dans un mélange d'essence de térébenthine et d'alcool. La dissolution obtenue est ensuite versée sur l'oxyde et convenablement triturée avec ce dernier jusqu'à obtenir une pâte plastique que l'on applique sur des plaques spéciales dites à treillis.

Après un séchage modéré à l'étuve et un trempage de quelques jours dans un bain acidulé, les plaques ainsi préparées peuvent être montées pour être mises en service. L'adhérence de la matière active est, paraît-il, très considérable, car ces accumulateurs peuvent être appliqués à la traction sans crainte de les voir se détériorer par désagrégation. L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Variations rapides du champ magnétique terrestre;

Par F. Kohlrausch [1].

A l'occasion d'une communication récente faite à l'Académie des Sciences de Berlin par M. Eschenhagen, M. Kohlrausch mentionne un orage magnétique qu'il a observé à Würzbourg le 20 novembre 1882. Le magnétomètre à variation qui venait alors d'être installé permettait en raison de sa faible période d'oscillation et de son grand amortissement, des observations très rapides. Les lectures

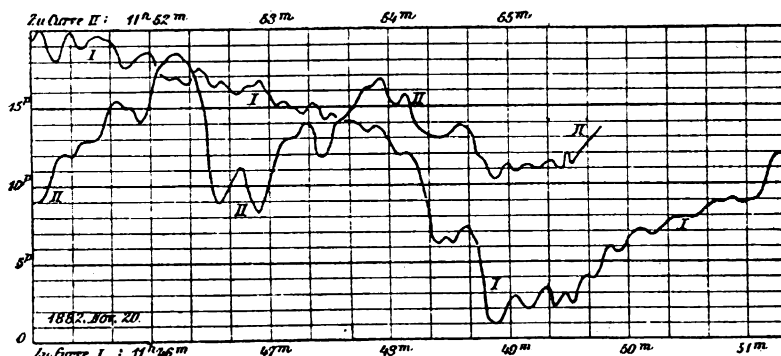


Fig. 1.

étaient faites toutes les deux secondes. La figure montre comment aux variations qui se poursuivent lentement se superposent des oscillations en général petites (la courbe II fait suite à la courbe I). Le variomètre était observé dans une lunette à une distance de 2,60 m; les barreaux déviants étaient placés à 47°,3 du méridien, de sorte qu'une division de l'échelle correspondait à une variation relative de 0,00021 dans l'intensité de la composante horizontale : la durée d'oscillation de l'aiguille est de 1,7 seconde : le coefficient d'amortissement 2,0.

Les petites oscillations, qui comprennent environ 2 divisions de l'échelle et se superposent à la courbe générale dans presque toute son étendue, répondent à des variations de 0,0004 ou en valeur absolue, de 0,00008 C. G. S.

Par suite même des variations, l'aiguille ne revient pas exactement à sa position d'équilibre primitive ; mais ce déplacement quand les conditions expérimentales sont bien choisies, ne dépasse pas 1/4 de division de

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 336-339, 1897.

l'échelle et est à peine sensible. Par exemple, avec une durée d'oscillation de 1 seconde et un coefficient d'amortissement 3, le déplacement reste dans ses limites et une secousse est déjà réduite après 2 secondes au 1/9 de sa valeur. M. L.

Détermination du moment électrique spécifique vrai d'une tourmaline ;

Par W. Voigt [1].

Toutes les observations faites jusqu'à présent sur la tourmaline se rapportent à la variation de la polarisation électrique des cristaux que provoquent les actions thermiques ou mécaniques, et ne fournissent aucun renseignement sur la valeur absolue de cette polarisation. Il existe certains groupes de cristaux, dans lesquels, par des raisons de symétrie, une pression ou une variation de température ne peuvent faire naître de moment électrique et dont les individus ne peuvent, dans leur état naturel, présenter aucune polarisation électrique dans le sens où l'entend Thomson. Par contre les groupes de cristaux qui possèdent un axe d'hémiédrie peuvent être polarisés par une pression ou une variation de température uniforme et aussi présenter dans l'état naturel une polarisation.

Riecke incline à penser que le moment électrique absolu d'une tourmaline a une valeur très grande, par rapport aux moments qu'on observe en chauffant le cristal ; dans sa théorie, il attribue à chaque molécule cristalline un moment absolu permanent, très grand, relativement aux variations que lui font éprouver les actions thermiques ou mécaniques.

M. Voigt pense qu'il est possible et en même temps préférable de considérer des molécules qui n'ont aucun moment électrique dans aucun de leurs états ; le moment absolu de l'unité de volume devient alors du même ordre de grandeur que les variations observées : la théorie en est simplifiée. En principe, rien n'empêche de mesurer expérimentalement le moment spécifique absolu d'une tourmaline. A la vérité on peut se débarrasser des charges qui adhèrent à la surface du cristal, mais en brisant le cristal on peut obtenir des surfaces nouvelles qui ne portent encore aucune telle charge.

L'expérience a été faite avec un cristal de tourmaline dont la longueur était de 6 cm environ et la section de 20 mm. Les extrémités de ce cristal étaient mastiquées dans deux garnitures de laiton, qui laissaient libre la partie moyenne, le cristal était abandonné ainsi à lui-même pendant plusieurs heures. La surface libre du cristal était vernie et la place où on devait produire la rupture était marquée par un trait de diamant.

Immédiatement après la rupture, les deux surfaces nouvelles étaient plongées dans deux godets de mercure qui étaient reliés aux quadrants d'un électromètre de Nernst-Dolezalek.

Si on désigne par μ le moment absolu de la tourmaline par unité de volume, par q la section du cristal à l'endroit de la rupture, les godets de mercure retiennent une charge $e = \mp q\mu$ et une quantité $e = \pm q\mu$ d'électricité devient libre.

L'électromètre était gradué d'après les constantes piézoélectriques de la tourmaline, mesurées dans des recherches antérieures. Quatre séries d'expériences ont donné les nombres suivants pour μ :

30,7, 34,2, 37,5, 31,2,

soit en moyenne

33,4 à 24°.

Comme une variation de température de 1° fait varier μ d'environ 1,23, on voit que le moment total correspondrait à une variation de 27° environ.

Cet ordre de grandeur est bien exact, comme on peut le vérifier ; on munit l'un des fragments du cristal de deux armatures métalliques, qu'on relie aux quadrants de l'électro-

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 368-375, 1897.

mètre, et on le laisse refroidir après l'avoir porté à 100° ; en quelques secondes, l'aiguille de l'électromètre est déviée hors des limites de l'échelle.

Si, pendant le refroidissement, l'extrémité du cristal est reliée à la même paire de quadrants que dans l'expérience précédente après la rupture du cristal, la déviation de l'électromètre se fait dans le même sens. Par conséquent à 24° le moment absolu de la tourmaline est de signe contraire à la variation qu'il éprouve par une élévation de température

$$\mu = 33{,}4 - 1{,}23(\theta - 24).$$

Cette variation de μ est extrêmement grande et explique probablement la différence entre les nombres obtenus dans les mesures citées ci-dessus :

Au delà de 50°, μ change de signe en passant par 0 ; cette température voisine de 50° caractériserait donc, sous la pression atmosphérique, l'état dans lequel les molécules de la tourmaline n'ont aucun moment électrique, c'est-à-dire l'état où elles se trouvaient quand elles ont formé le cristal.

On pourrait objecter à ce qui précède qu'au moment de la rupture du cristal se produisent des phénomènes électriques particuliers : admettre par exemple que la couche d'air qui sépare les deux fragments du cristal est pendant un instant conductrice, à cause de sa raréfaction extrême. La polarisation des deux moitiés du cristal produirait alors dans cette courbe une distribution électrique, qui aurait pour effet de charger les surfaces de rupture et de diminuer en apparence le moment μ. Mais cela est bien peu probable, d'après la valeur trouvée pour μ ; $\mu = 33{,}4$ correspond à une densité de la charge superficielle équivalente 5 1/2 fois plus forte que la plus grande densité observée par Riecke sur le plateau d'une machine à influence.

Le fait que μ s'annule à une température relativement basse ne s'accorderait guère non plus avec une valeur absolue de ce moment très grande par rapport à ses variations.

Il serait intéressant de poursuivre ces expériences aux températures élevées ; mais on se heurte à de grandes difficultés pratiques. Il est difficile de connaître exactement la température du cristal et on risque, en le plongeant dans du mercure dont la température diffère de la sienne, de produire des polarisations secondaires ; en outre l'air chauffé directement par une flamme peut charger ou décharger les surfaces de rupture même pendant le court intervalle de temps entre la rupture et l'immersion des surfaces dans le mercure. M. L.

Vérification expérimentale de la formule de Clausius-Mossotti ;

Par R. MILLIKAN (¹).

D'après la théorie de Clausius et de Mossotti la capacité inductive K d'un diélectrique est donnée par la formule :

$$K = \frac{1 + 2x}{1 - x}$$

où x représente la fraction du volume total occupée par les molécules conductrices dont la théorie suppose l'existence. L'auteur a cherché à vérifier cette formule en mesurant la capacité inductive d'une émulsion.

Cette émulsion était formée par un mélange de chloroforme et de benzine, dont la densité était très voisine de 1, agité avec un volume d'eau connu. La mesure était faite immédiatement après une vive agitation et ensuite après la séparation de l'eau. La formule devient dans le cas actuel :

$$K = K' \frac{1 + 2x}{1 - x},$$

K' étant la capacité inductive de l'isolant et x le quotient du volume de l'eau par la somme des volumes de l'eau et du mélange chloroforme-benzine. L'accord entre les nombres calculés par cette formule et les nombres trouvés dans les expériences est très satisfaisant.

(¹) *Wied. Ann.* t. LX, p. 376-379, 1897.

Si on employait des oscillations très rapides, les gouttelettes d'eau n'auraient plus le temps de se polariser et se comporteraient comme des diélectriques parfaits. Les émulsions devraient alors présenter une dispersion anomale dans une certaine région du spectre électrique. Le professeur Nernst voit dans ce fait une explication générale de la dispersion anomale ; il a observé, par exemple, en étudiant avec son appareil une couche d'alcool renfermée entre deux lames de verre que le téléphone ne donne aucun minimum nettement accusé, mais que le minimum redevient distinct quand l'alcool est remplacé par une substance beaucoup plus isolante ou beaucoup plus conductrice. M. Millikan a aussi réalisé une cuve à diélectrique présentant une forte dispersion. Cette cuve très étroite est garnie extérieurement, sur ses longues faces, de feuilles de clinquant ; on la remplit de chloroforme pur et on mesure sa capacité au moyen de l'appareil de Nernst. Si on ajoute au chloroforme une trace d'acide chlorhydrique, le minimum cesse d'être distinct ; en continuant à ajouter avec précaution de l'acide, on obtient de nouveau un minimum distinct. Par conséquent, le chloroforme se comporte avant l'addition d'acide comme un diélectrique parfait, et après cette addition comme un conducteur parfait. La capacité de la cuve est augmentée, par la présence de l'acide, dans le rapport de 1 : 2,93. Lorsqu'on emploie des vibrations très rapides (10^7 par seconde), l'addition d'acide chlorhydrique n'a plus d'influence. La capacité de la cuve remplie de chloroforme acidifié baisse donc jusqu'au 1/3 de sa valeur, entre les périodes 10^{-4} et 10^{-7} seconde : ce qui indique une forte dispersion anomale. M. L.

Sur les rotations dans les champs électriques constants ;

Par L. Boltzmann [1].

« M. Quincke considère seulement la polarisation diélectrique ordinaire avec l'hystérésis, qui d'après les idées actuelles suit les mêmes lois que la polarisation magnétique avec l'hystérésis magnétique [1]. Or cette dernière n'est pas susceptible de créer de l'énergie, mais seulement d'en dissiper. Il est donc clair qu'une sphère magnétique plongée dans un liquide magnétique et recouverte d'une couche d'air magnétique ne peut exécuter d'oscillations de quelque durée, quand elle est placée entre les pôles invariables d'un aimant permanent. Toute théorie d'après laquelle de pareilles rotations sont possibles est manifestement incomplète.

» Pour expliquer ces rotations entre les deux armatures d'un condensateur, il faut faire intervenir l'échange d'électricité entre les deux armatures, sous forme de courant de conduction ou plutôt de courant de convection dans le liquide où plongent les sphères. Cet échange fournirait l'énergie nécessaire à la rotation, en admettant, par exemple, que la rotation entraîne le liquide de manière à favoriser la convection.

» A défaut d'admettre ce rôle de la convection, il faut attribuer des lois tout à fait nouvelles aux phénomènes qui se passent dans les diélectriques ; les diélectriques devraient être des sources d'énergie et subir, pendant la durée des oscillations, des modifications de plus en plus prononcées, qui expliqueraient la transformation continue d'énergie en chaleur que provoque pendant le mouvement de la sphère, le frottement de cette sphère contre le liquide. M. Quincke ne parle qu'incidemment de la convection et seulement de son action sur l'électricité développée par contact. Dans sa théorie, il ne dit mot de l'échange d'électricité entre les armatures, qui peut-être joue un certain rôle dans les expériences où ces armatures sont séparées par des lames de mica. » M. L.

---

[1] *Wied. Ann.* t. LX, p. 399, 1897.

[1] Voir Quincke, Rotations dans un champ électrique constant. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 225, 24 avril, 1897.

Sur la visibilité des rayons de Rœntgen;

Par G. Brandès et E. Dorn [1].

D'après Salvioni, Dariex et de Rochas, les milieux de l'œil et particulièrement le cristallin sont opaques pour les rayons de Rœntgen. Il n'est donc pas impossible que nous ne percevions pas les rayons non parce que la rétine y est insensible, mais parce qu'ils sont absorbés par l'œil avant de parvenir à la rétine. C'est cette dernière supposition qu'avaient paru confirmer d'abord les observations faites par MM. Brandès et Dorn, sur une jeune malade, à laquelle on avait enlevé les cristallins, pour corriger une myopie exagérée; dans l'œil droit seulement subsistait la partie postérieure de la capsule du cristallin.

Le tube employé à la production des rayons est un tube en forme de poire de 18,5 cm de longueur, dont la paroi, en face de la cathode, est recouverte d'iodure de rubidium. Le vide était poussé assez loin pour que la décharge correspondit à une distance explosive de 5,5 cm sur un micromètre placé en dérivation. La bobine d'induction, donnant 40 cm d'étincelle, était alimentée par 10 accumulateurs.

Les expériences avaient lieu dans une chambre obscure, le tube étant enveloppé dans du velours noir et les yeux de la jeune fille couverts de papier noir. Lorsqu'on approchait sa tête du tube, la jeune fille accusait une *sensation lumineuse dans l'œil gauche*.

Les expérimentateurs firent un essai sur eux-mêmes dans les mêmes conditions; à cela près que leurs yeux sont normaux; à leur grand étonnement, ils perçurent aussi une sensation.

Reste à savoir si ces sensations proviennent réellement des rayons de Rœntgen. Pour en décider, MM. Brandès et Dorn ont fait l'expérience suivante: ils mettent la tête dans un cylindre de carton fermé par un morceau de velours noir semblable à celui qu'on emploie dans la photographie. Un observateur ainsi équipé ne perçoit pas trace de la lumière d'une forte lampe à arc, tandis qu'en approchant du tube de Rœntgen, il éprouve la même sensation que ci-dessus: il n'y a pas davantage de changement quand on interpose entre l'œil et le tube une feuille d'aluminium; la sensation n'est donc pas causée par une action électrique. Du reste, si on remplace la feuille d'aluminium par une lame de verre, la sensation est supprimée; cependant le verre n'empêche pas l'influence électrique, mais absorbe les rayons Rœntgen.

Plusieurs personnes ont fait les mêmes observations: il faut citer entre autres l'inspecteur de police Weise, qui a éprouvé à peu près la même sensation avec son œil droit privé de cristallin et son œil gauche, normal.

Il ne semble donc pas que la perception des rayons de Rœntgen exige un état particulier de l'œil. Si cette perception n'a pas été observée plus tôt, cela tient sans doute aux appareils employés. On sait, en effet, que les rayons de Rœntgen sont d'autant plus pénétrants que le vide dans le tube est plus avancé. En fait, on ne réussit pas à obtenir des rayons perceptibles avec tous les tubes, ni avec un même tube pour tous les degrés de vide: le vide doit être tel qu'il corresponde sur un interrupteur extérieur à une distance explosive comprise entre 5,5 et 8 cm.

Les expériences ne sont pas sans difficultés: il est impossible d'éviter de légers déplacements relatifs du tube et de l'œil; on n'est pas fixé sur la direction de l'axe des yeux qui se trouvent dans l'obscurité, encore que l'observateur s'efforce de regarder dans une direction déterminée; enfin, la localisation de la sensation dans l'œil fermé est aussi assez malaisée et au début quelques observateurs sont tombés à cet égard dans les erreurs les plus étranges.

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 478-490, 1897. Voir également à ce sujet, dans *L'Éclairage Électrique*: Dariex et Rochas, t. VI, p. 473, 7 mars 1896; Brandès, t. IX, p. 480, 5 décembre 1896; Bullot, t. X, p. 285, 6 février 1897; Gallemaerts, t. X, p. 286, 6 février 1897; G. Bardel, dans la chronique de ce numéro, p. 40.

L'œil qui doit être expérimenté est maintenu pendant 20 minutes recouvert d'un drap noir, pour s'habituer à l'obscurité, l'autre œil est protégé contre les rayons de Rœntgen par une lame de plomb. Le tube est placé à 8 ou 10 cm de l'œil.

1° Le faisceau de rayons arrive dans la direction de l'axe de l'œil.

Un anneau brillant se détache sur le bord extrême du champ visuel, plus large et plus brillant du côté de la tempe (T); l'intérieur de l'anneau est rempli d'une lumière diffuse (fig. 1). Suivant les observateurs, la portion la plus brillante de l'anneau se trouve vers le haut ou vers le bas, quelquefois vers le milieu.

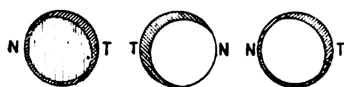


Fig. 1 à 3.

Les figures 2 et 3 représentent les observations de Weise, à gauche avec l'œil normal, à droite avec l'œil privé de cristallin; la sensation est plus forte dans ce dernier.

2° On déplace lentement devant l'œil une feuille de plomb, jusqu'à ce que l'observateur perçoive la première impression lumineuse. En général l'impression commence quand le bord de la feuille dépasse l'arcade sourcilière: le segment lumineux apparaît en haut ou en bas, selon que l'œil est couvert par en bas ou par en haut. La position limite de l'écran varie d'ailleurs d'un observateur à l'autre.

3° Une plaque de plomb, percée d'un trou rond de 2 mm de diamètre est placée devant l'œil de façon que les rayons puissent tomber sur la pupille: on n'obtient rien. Avec un trou de 4 mm, les divers observateurs reçurent la sensation d'un disque lumineux nettement délimité, à peu près dans le milieu du champ visuel ou un peu du côté de la tempe.

4° Dans une monture de lunettes, à anneaux circulaires, on introduit des disques d'aluminium; lorsqu'on colle sur le milieu de ceux-ci une petite rondelle de plomb, la clarté disparait au centre du champ visuel et le bord qui reste assez clair est mieux délimité vers l'intérieur. Dans les premiers essais, il fut impossible d'apercevoir l'ombre (par rapport aux rayons de Rœntgen) d'une bande de plomb large de 5 mm: mais l'expérience réussit avec une tige de laiton de 6 mm de diamètre: l'ombre suit la tige quand on déplace celle-ci et parcourt le champ visuel dans le même sens.

5° Les rayons de Rœntgen tombent sur le coin extérieur de l'œil, perpendiculairement au plan de symétrie du visage.

On voit un anneau brillant, avec une région plus brillante à droite, mais l'intérieur de l'anneau ne donne aucune sensation lumineuse. Si on glisse en avant le long de la tempe une plaque de plomb, l'apparence lumineuse se réduit à une bande étroite sur le bord gauche du champ visuel, laquelle disparaît quand le bord de l'écran dépasse de 5 mm le bord droit de l'arcade sourcilière.

En résumé il est très difficile de localiser la sensation et aucune règle générale ne peut être formulée à ce sujet.

Absorption des rayons de Rœntgen par les milieux de l'œil. — Cette absorption a été étudiée par la méthode photographique. On place sur la plaque sensible enveloppée de papier noir les yeux d'un porc récemment tué et comme échelle de comparaison une pile de 16 feuilles d'aluminium (épaisseur 0,62 mm) superposées en escalier. L'exposition durait 7 minutes pour l'une des épreuves, de 2 minutes pour l'autre, le degré de vide du tube correspondant dans le premier cas à 3 cm de distance explosive, dans le second cas à 8 cm. La plaque était à 20 cm du tube. Bien que les tubes fussent très actifs, on ne pouvait distinguer sur les clichés l'ombre du cristallin : il n'y a donc pas lieu d'attribuer au cristallin un pouvoir absorbant plus considérable que celui des autres milieux de l'œil. Le cliché obtenu avec une faible distance explosive et une longue durée de

pose, était plus noir dans les parties non recouvertes, que le second, obtenu avec une pose plus courte : au contraire les régions recouvertes par les deux yeux étaient plus fortement impressionnées sur le second cliché que sur le premier. Il résulte de là que l'absence de sensation lumineuse est dû à l'emploi de tubes dont le vide n'est pas assez parfait.

Les expériences faites avec des yeux de veau confirment les précédentes. L'humeur vitrée, en raison de son épaisseur, absorbe plus que le cristallin (expériences faites sur des yeux de bœuf et de mouton). L'iris absorbe moins que le cristallin, la paroi du bulbe encore moins : la cornée à peu près comme cette dernière : la rétine donne une ombre à peine visible.

Les résultats sont à peu près les mêmes avec les cristallins de divers animaux (cheval, bœuf, mouton, chat, pigeon, hibou, carpe) : le cristallin de l'œil d'un cheval atteint de la cataracte et l'œil normal n'ont pas montré de différence.

Les observations s'expliquent par ce fait que les rayons de Rœntgen traversent les milieux de l'œil sans se réfracter, tandis que les images optiques des objets extérieurs sur la rétine se trouvent renversées. Par suite, lorsque la partie inférieure de la rétine se trouve excitée, nous rapportons l'origine de la sensation à la partie inférieure du champ. Les sensations lumineuses produites par les rayons de Rœntgen peuvent, d'une part, provenir d'une fluorescence provoquée par ces rayons dans les milieux de l'œil ; d'autre part la sensation peut naître sur la rétine elle-même, soit directement, soit par l'intermédiaire de la fluorescence. L'expérience décrite au paragraphe 5 exclut la première hypothèse. Si on tient compte des conditions anatomiques, on trouve que la première sensation est perçue lorsque les rayons peuvent atteindre la rétine ; en outre la diffusion des rayons sur l'os inférieur de l'orbite peut aussi jouer un rôle.

Du reste, les expérimentateurs ont vérifié directement sur un œil de lapin albinos et sur un œil de porc que les éléments de l'œil ne présentent pas trace de fluorescence sous l'action des rayons de Rœntgen. La seule explication qui reste plausible est donc que ces rayons impressionnent directement la rétine, quand ils possèdent une énergie suffisante.

Enfin le pourpre rétinien ne paraît pas s'altérer sous l'influence des rayons de Rœntgen, d'après les essais faits sur le pourpre provenant d'yeux de bœuf et de grenouille.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

L'éclairage à l'acétylène. (Bibliothèque de la Revue générale des Sciences), par G. Pellissier. — Un volume in-8° de 237 pages et 102 figures. — *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. — Prix, cartonné, 5 fr.

Donner dans ces colonnes notre appréciation sur un ouvrage écrit par un de nos collaborateurs et publié par les éditeurs de ce Journal était une tâche des plus délicates : bonne, notre appréciation risquait de paraître entachée de l'esprit de camaraderie ; mauvaise, il valait mieux ne pas l'exprimer ; dans l'une ou l'autre alternative, il était préférable de s'abstenir ; c'est ce qui explique le retard que nous avons mis à présenter à nos lecteurs ce volume d'actualité.

Mais maintenant que six mois se sont écoulés depuis la publication de ce livre et que les opinions se sont manifestées, nous serions coupable si nous ne nous faisions pas l'écho des appréciations flatteuses que nous avons lues et entendues, appréciations qui confirment d'ailleurs notre opinion

première que l'ouvrage de notre collaborateur Pellissier est un des meilleurs qui aient été publiés sur la question de l'acétylène. Indiquons-en rapidement le contenu.

Le volume débute par quelques mots d'historique, par l'étude des propriétés physiques et chimiques de l'acétylène, et par un exposé des travaux de Vieille et Berthelot, de Lewes et de Gréhant sur les propriétés explosives et toxiques des mélanges de ce gaz et d'air. Dans le second chapitre, sont décrits les fours électriques; puis viennent la description de la fabrication et l'exposé des propriétés du carbure de calcium, qui font l'objet du chapitre suivant.

Avec le chapitre IV, consacré aux généralités sur la préparation de l'acétylène, nous entrons dans la partie du volume intéressant plus particulièrement le consommateur producteur; la description des gazogènes et des lampes portatives, qui a été dans ce journal l'objet de plusieurs articles de l'auteur et qui, remise au point, forme les chapitres V et VI de son ouvrage, est très complète et méthodiquement faite; un chapitre, placé à la fin de l'ouvrage complète cette description en donnant les conditions d'installation des appareils, les règlements administratifs qui s'y rapportent et enfin les manipulations qu'ils exigent.

Le problème de la distribution de l'acétylène est abordé dans le chapitre VIII où nous trouvons la description des appareils de liquéfaction de l'acétylène, l'établissement du prix de revient de l'acétylène liquide, l'indication des dangers qu'il présente dans son emploi, quelques mots sur l'acétylène comprimé, et l'indication du procédé Claude et Hess pour l'emmagasinement de l'acétylène par dissolution sous pression dans l'acétone.

La question, non encore résolue, des brûleurs fait l'objet du chapitre suivant.

Enfin l'auteur examine le côté économique de la question de l'éclairage par l'acétylène, et passe en revue les quelques applications actuelles de ce gaz.

Par ce rapide aperçu on peut voir que toutes les parties de la question de l'acétylène ont été examinées; en se reportant aux articles auxquels nous faisons précédemment allusion nos lecteurs se convaincront que chacune d'elles a été traitée avec toute l'ampleur que nos connaissances actuelles permettait de lui donner.

A ce sujet quelques critiques ont cependant été faites ; nous ne devons pas les passer sous silence, ne serait-ce que pour les réfuter ou tout au moins les expliquer. Dans un compte rendu bibliographique publié récemment dans *L'Industrie Électrique*, M. P. Colardeau reprochait à M. Pellissier de n'avoir pas donné suffisamment de renseignements techniques sur la préparation du carbure de calcium et de s'être borné à résumer les renseignements publiés dans *L'Éclairage Électrique*, par M. Jacquin sur la fabrication du carbure à Froges et par MM. Houston et Kennelly sur les essais de Spray. Nous répondrons à cette critique que si M. Pellissier n'a, pas plus que *L'Éclairage Électrique* d'ailleurs, donné des renseignements sur les quelques autres usines où se fabrique du carbure de calcium, c'est que les directeurs de ces usines n'ont pas voulu les fournir ou, les ayant fournis, n'ont pas voulu qu'ils soient divulgués. M. P. Colardeau sait fort bien que c'est là une pratique constante dans l'industrie, surtout dans une industrie nouvelle, car il ajoute lui-même qu'il « est d'ailleurs assez naturel que ceux qui ont obtenu ces détails techniques à grand prix de temps et d'argent ne tiennent pas à les publier ». Mais alors pourquoi critiquer? Fallait-il que M. Pellissier cherchât à surprendre la bonne foi des industriels et publiât des renseignements obtenus par la ruse? M. Colardeau eût peut-être été le premier à s'en plaindre, et d'ailleurs c'est là un procédé de renseignements peu recommandable.

Une autre critique de M. Colardeau porte sur l'évaluation des frais de fabrication du carbure. Il trouve trop bas le prix adopté de 17,25 fr pour la tonne de coke pulvérisé et trouve exagérée la somme de 100 fr portée au compte des frais généraux par tonne de carbure. Cette critique parait fondée dans les conditions actuelles de fabrication, car, d'une part, les usines, placées près d'une chute d'eau pour avoir l'énergie électrique à bon marché, sont généralement assez éloignées des centres houillers, ce qui augmente le prix du coke ; et, d'autre part, la plupart des usines à carbure fabriquant également d'autres produits électrométallurgiques, bien des frais généraux se trouvent répartis sur plusieurs matières, ce qui diminue la partie afférente au carbure. Mais M. Pellissier ne présentait ces chiffres que comme approximatifs et il ne paraît pas que le total, 223 fr par tonne de carbure, soit de beaucoup erronné.

Les critiques, comme on le voit, sont de peu d'importance, M. Colardeau le reconnait d'ailleurs lui-même et nous ne pouvons mieux faire que de lui emprunter sa conclusion :

« A part quelques reproches que nous faisions plus haut, l'ouvrage de M. Pellissier est l'un des meilleurs qui existe actuellement ; il est très complet et très documenté ; l'auteur ne s'est pas contenté de compulser et de réunir tous les renseignements connnus, il a fait plus, car en de nombreux passages, il nous fait connaitre son avis. »

J. Blondin.

La technique des rayons X. (Bibliothèque de la Revue générale des sciences), par A. Hébert. — Un volume in-8°, de 136 pages, 25 figures, et 10 planches hors texte. — *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. — Prix, cartonné 5 fr.

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler plusieurs des ouvrages qu'a fait éclore la découverte de Rœntgen ; celui de M. Hébert, préparateur à la Faculté de médecine, s'adresse plus particulièrement aux médecins, chirurgiens et amateurs de photographie ; il ne faut donc pas y chercher des considérations théoriques étendues sur la production et la nature des rayons de Rœntgen et, en fait, le peu de théorie qu'on y trouve est condensé dans les 10 dernières pages ; ce qu'on y rencontre ce sont des indications fort précises sur la manière d'opérer et à ce titre il intéressera certainement nos lecteurs.

Le plan de l'ouvrage répond d'ailleurs fort bien à ce but. La première partie comprend quatre chapitres consacrés à la source d'électricité (piles, accumulateurs, courant fourni par les usines centrales), à la bobine, au tube de Crookes et à la glace et châssis photographiques. Dans une seconde partie l'auteur nous initie aux détails du mode opératoire (disposition générale des expériences, développement des images et obtention des positifs, dispositif convenant à la fluoroscopie). Enfin dans la troisième partie, M. Hébert passe aux applications, parmi lesquelles les applications médicales et chirurgicales tiennent la plus large place.

Chacune de ces parties est traitée avec beaucoup de soin et de clarté ; à la vérité il nous serait possible de signaler çà et là quelques inexactitudes, ou plutôt quelques incorrections, mais elles n'ont que peu d'importance et la plus grave que nous ayons rencontrée est celle de la page 20 où il est longuement expliqué dans le texte que pour l'alimentation des bobines par le courant des usines centrales on doit mettre en dérivation une bobine de résistance, tandis que la figure correspondante nous montre la résistance placée en série avec la bobine de Ruhmkorff. Ce sont, comme on voit, de ces inexactitudes qui échappent malheureusement trop souvent à la correction dans les meilleurs ouvrages et si nous les signalons c'est moins pour les reprocher à l'auteur que pour faire ressortir le mérite de l'ensemble de l'ouvrage ; celui-ci, en effet, nous a paru parfaitement répondre au but visé : initier le lecteur étranger au maniement des bobines d'induction et des tubes de Crookes à la technique radiographiqne ; c'était un programme difficile à remplir.

J. Blondin.

CORRESPONDANCE

A propos de la décimalisation de l'heure.

Monsieur le Directeur,

Le dernier numéro de *L'Éclairage Électrique* contient de fort intéressantes remarques de M. H. Poincaré sur la décimalisation de l'heure et de la circonférence ; mais il est un point sur lequel je ne partage pas son opinion, et que je me permets de vous signaler. M. Poincaré pense en effet que les industriels électriciens *ne s'apercevront même pas* du changement d'unités de temps qu'il est question de réaliser, le temps n'intervenant pas, d'après lui, dans les mesures relatives, les seules qu'ils ont à réaliser. Il est vrai que dans la comparaison de deux résistances, de deux forces électromotrices, le temps n'intervient pas explicitement, et qu'il est fort permis d'oublier que la résistance est homogène à une vitesse. Mais, et c'est un point essentiel sur lequel j'ai insisté ailleurs, il existe toute une classe d'équations *industrielles* où le temps figure explicitement : le meilleur exemple en est fourni par l'équation fondamentale des dynamos à courant continu :

$$E = \frac{N n \Phi}{10^8}$$

où N représente le nombre de tours par *seconde*, si l'on veut que E soit exprimé en *volts*.

Il en sera de même des équations relatives aux alternateurs, aux transformateurs, et généralement de toutes les équations où la force électromotrice d'induction sera exprimée au moyen de la dérivée du flux par rapport au temps. Il en résulte que les futurs chronomètres étant gradués en nouvelles unités de temps, il faudra, ou bien renoncer aux systèmes actuels des unités électriques, ou faire une conversion chaque fois que l'on aura à mesurer une vitesse de rotation ou une fréquence. Je n'examine pas ici de savoir si ce sacrifice serait lourd ou léger aux électriciens, mais je ne doute pas qu'ils ne s'en aperçoivent fort bien.

Veuillez agréer, etc., P. JANET.

Il est vrai que certains calculs relatifs aux courants alternatifs et aux dynamos pourront exiger une conversion d'unités.

Mais ce calcul de conversion serait très court; il serait précisément aussi compliqué que celui que les électriciens se sont bénévolement imposé le jour où ils ont inventé l'ampère-heure et le watt-heure.

Si l'on veut éviter cette multiplication par 36, on n'a qu'à conserver un chronomètre à secondes pour mesurer les nombres de tours.

Une montre actuelle qui a deux grandes aiguilles dont l'une fait le tour du cadran en une heure, l'autre en douze heures, et une petite aiguille marquant les secondes sur un petit cadran pourrait très bien s'adapter à un double service.

Il suffirait de tracer sur le grand cadran une division en 100 parties et on aurait un chronomètre qui permettrait de compter les secondes et qui donnerait en même temps l'heure décimale à un centiheure près.

Ce que je propose, c'est qu'il y ait deux unités de temps, l'heure pour les astronomes, la seconde pour les électriciens.

H. POINCARÉ.

CHRONIQUE

Action des rayons Rœntgen sur la rétine. — A la dernière séance de l'Académie des sciences, M. G. BARDET faisait à ce sujet, dont il est déjà parlé plus haut (p. 35), la communication suivante :

« On a nié jusqu'ici l'action des rayons X sur la rétine, quoique quelques observateurs aient affirmé avoir constaté chez certains sujets une impression lumineuse quand l'œil se trouvait placé dans l'axe des radiations. On a dit aussi que les milieux optiques étaient opaques pour ces rayons, le cristallin particulièrement, et Brandès a affirmé que des sujets opérés de la cataracte éprouvaient nettement une impression lumineuse par les radiations d'un tube de Crookes; ce fait a ensuite été nié par Dariex.

» La vérité est que toutes les personnes que j'ai observées éprouvent une sensation lumineuse quand leur œil se trouve dans le champ d'action d'un tube éclairé par la lumière cathodique, et que les milieux optiques, s'ils présentent une résistance, n'empêchent pas l'action lumineuse. Mais, pour que le phénomène se manifeste, il faut que le sujet se trouve dans des conditions d'expérimentation favorables, car l'action est très faible et ne peut se manifester que dans une obscurité absolue.

» La bobine et le tube doivent se trouver placés en dehors d'un cabinet noir où se tient l'observateur, celui-ci percevant les radiations à travers une cloison en planches, le bois étant, comme on le sait, perméable aux rayons X. Les murs du cabinet noir doivent être tendus de rideaux noirs épais, et surtout ne doivent pas être peints, car un grand nombre de couleurs deviennent fluorescentes par les rayons X.

» Dans ces conditions, un œil placé à quelques centimètres du champ d'action du tube ressentira une impression lumineuse assez vive, analogue à celle d'une personne devant les yeux fermés de laquelle on fait remuer une bougie. L'interruption du courant supprime le phénomène, qui se reproduit dès que le tube est ranimé.

» Un gros registre, une plaque d'aluminium, placés entre l'œil et le tube, laissent persister la sensation lumineuse, mais celle-ci disparaît si le diaphragme est une plaque de fer, ou de cuivre, ou de plomb. Une plaque de verre diminue fortement la luminosité, mais il faut la placer en de-

hors de la chambre noire, car elle devient fluorescente, ce qui rend l'expérience impossible.

» En résumé, la sensation lumineuse est faible, mais nette ; elle est synchrone des variations du tube. Si l'on tourne l'axe de celui-ci de manière à diriger dans un autre sens les radiations, le phénomène disparait, ce qui ne permet pas de supposer que l'impression soit due à l'action du champ électrique. Tous les milieux qui laissent passer les rayons X permettent au phénomène lumineux de se produire, tandis qu'il est empêché par les milieux opaques à ces rayons.

» Il n'y a donc pas de doute pour moi que les radiations du tube de Crookes exercent une action lumineuse directe sur la rétine. Une seule objection n'a pas encore été résolue par moi, c'est celle qui supposerait une illumination fluorescente des milieux optiques. »

M. d'Arsonval ajoute, à l'occasion de cette communication, les remarques suivantes :

« On peut provoquer des sensations lumineuses par des ondes d'une tout autre nature, par exemple au moyen d'un champ magnétique alternatif, ainsi que je l'ai signalé il y a une année environ à la Société de biologie. Si l'on place la tempe près d'un électro-aimant, animé par un courant alternatif (de 42 périodes dans mon cas), on perçoit très nettement des éclairs lumineux dont la période est de 3 à 4 par seconde. Parfois on a une image très nette du fond de l'œil. Enfin les tissus vivants placés dans un pareil champ sont le siège de phénomènes intéressants que je communiquerai à l'Académie ultérieurement. Si l'on n'avait obtenu que très peu d'effet avec le champ magnétique constant, cela tenait à ce que le champ magnétique agit comme tous les excitants physiologiques, non par son intensité absolue, mais par ses variations. »

Chauffage des chaudières au charbon pulvérisé. — Dans les numéros des 22 et 29 mai de la *Revue industrielle*, M. P. Chevillard continue la description des différents systèmes proposés en vue du chauffage des chaudières par le charbon en poudre (voir notre chronique des 15 et 29 mai, t. XI, p. 381 et 472).

Dans l'*appareil de de Camp*, construit par Léopold Ziegler à Berlin, le charbon en poudre, versé dans une trémie, est amené par une vis d'Archimède devant un jet d'air d'un ventilateur et l'air ainsi chargé de poussières de charbon est conduit par de larges tuyaux aux divers foyers à alimenter ; l'avantage du système consiste précisément dans la possibilité d'alimenter plusieurs foyers avec un seul appareil. En outre, pour éviter la diminution de surface de chauffe directe résultant du revêtement réfractaire dont on doit munir les foyers intérieurs sur une longueur suffisante pour qu'aucune parcelle de charbon n'échappe à la combustion, M. de Camp a imaginé un système de foyers à manchons réfractaires emboîtés les uns dans les autres qui donnent une surface incandescente assez grande pour permettre de réduire la longueur du revêtement.

L'*appareil de Carl Schütze*, qui figurait à l'exposition de Berlin de 1896, ne présente d'autre particularité que sa simplicité ; il se compose d'un distributeur et d'un ventilateur.

Avec l'*appareil Max Seipp* on peut employer le charbon en poudre tel qu'il sort du broyeur, c'est-à-dire sans tamisage. Dans ce but, l'air chargé de particules de charbon, au lieu d'être lancé horizontalement dans le foyer, s'élance verticalement du fond d'une chambre de combustion en forme de cône renversé ; les particules les plus fines brûlent immédiatement ; les plus grosses retombent sur les parois inclinées de la chambre et sont reprises par le courant d'air jusqu'à combustion complète. L'appareil peut être disposé pour alimenter simultanément plusieurs foyers.

L'*appareil Schmitz* est assez compliqué. Le mélange d'air et de charbon traverse, avant de se rendre au foyer, plusieurs chambres où les particules les plus grosses se déposent ; il s'effectue ainsi un triage pouvant répondre à certains besoins de la pratique.

La station centrale à vapeur de la Compagnie Edison de New-York. — Cette usine centrale, des plus modernes, vient de faire l'objet d'une description très documentée de MM. H. Lomas et H.-C. Gunton dans l'un des derniers numéros de *The Electrical Review*, de Londres.

La nouvelle station de la rue Duane est destinée à venir en aide aux cinq autres usines de New-York alimentant les réseaux à trois fils qui fournissent l'énergie à non moins de 279 405 lampes à incandescence, 3 225 lampes à arc et un nombre de moteurs dont la puissance totale représente 15 930 chevaux.

Son matériel générateur se compose de :

11 chaudières Babcock-Wilcox de 375 chevaux nominaux l'une;
2 moteurs à vapeur Dickson de 2 580 chevaux à quadruple expansion;
2 moteurs à vapeur Dickson de 1 250 chevaux à triple expansion;
3 moteurs à vapeur Dickson de 600 chevaux à triple expansion.

Chacun de ces moteurs est directement couplé à des dynamos G. E. à induit à tambour et enroulement shunt dont la puissance individuelle varie de 200 à 800 kilowatts. La caractéristique de ces dynamos est l'absence de collecteurs cylindriques; les balais appuient sur l'une des faces de l'induit où les barres forment comme un collecteur radial. Le réglage du champ des dynamos s'opère à l'aide des appareils d'un tableau spécial situé près du tableau général de distribution. L'installation de ce dernier a fait l'objet d'une étude très sérieuse vu l'espace excessivement restreint dont on disposait pour grouper les appareils destinés à répartir 175 000 ampères de courant à 140 volts sur 70 feeders. M. Van Vleck, l'ingénieur chargé des plans de ce tableau, y a réussi tout en conservant les appareils de manœuvre à la portée de la main en assurant une sécurité complète de l'ensemble. Comme la description détaillée nous entraînerait trop loin, nous nous bornerons à dire que les connexions d'une dynamo de 8 000 ampères avec ses feeders correspondants s'opère sur un espace de 15 cm de large pris sur toute la hauteur du tableau. Cet espace comprend les commutateurs, coupe-circuits, appareils de mesure et un rhéostat quadrangulaire.

Cette station, ainsi pourvue d'un matériel des plus modernes, est en mesure de fournir l'énergie à des prix très raisonnables et à prendre par suite une extension considérable. D'ailleurs, la salle des chaudières, ainsi que celle des machines, sont disposées pour recevoir un matériel double de ce qu'elles possèdent actuellement.

La station centrale à gaz pauvre des tramways électriques de Zurich. — Nous avons déjà eu l'occasion d'entretenir nos lecteurs sur les récents développements de l'industrie électrique dans cette ville; nous y revenons aujourd'hui pour compléter des renseignements déjà donnés sur la station centrale à gaz pauvre qui alimente un réseau de tramways important.

Cette station fonctionne déjà depuis quelque temps et l'intéressant rapport fait par M. Lanhoffer à la Société industrielle de Mulhouse montre que, malgré le prix de revient élevé du combustible, les résultats acquis s'annoncent sous un jour favorable.

Les gazogènes de la station des tramways de Zurich sont du système Hirzel et se composent de deux appareils générateurs, avec leurs accessoires, d'une chaudière et d'un gazomètre.

De la chaudière la vapeur passe dans un tube contenu dans les générateurs, où elle est surchauffée, puis est conduite à un injecteur qui l'aspire en même temps qu'une certaine quantité d'air chaud contenu dans l'enveloppe des appareils. Le mélange résultant est dirigé sous la grille des générateurs et traverse la couche d'anthracite pour former le gaz pauvre. Ce dernier passe successivement dans un barboteur, un cylindre laveur et un épurateur, puis se rend dans la cloche du gazomètre.

La mise en train des appareils s'effectue de la façon suivante : les générateurs étant allumés, on ouvre les portes des foyers pour donner libre accès à l'air et l'on active le tirage en lançant un jet de vapeur dans la cheminée commune aux deux appareils. La valve de la tubulure qui conduit le gaz au barboteur doit être fermée pendant cette opération; on ne la rouvre que quand la charge des générateurs est suffisamment incandescente et que la pression est devenue à peu près constante au manomètre; la valve de la cheminée est alors fermée de façon à forcer tout le gaz produit à passer dans les appareils épurateurs et collecteurs, et l'injecteur est mis en marche. Le gaz produit peut être contrôlé par la flamme d'un brûleur placé sur la tubulure avant d'être envoyé au barboteur.

La production du gaz est réglée automatiquement par le gazomètre qui est relié à l'injecteur de façon à augmenter ou diminuer l'admission de vapeur suivant les besoins de la consommation. Le chauffeur n'a donc qu'à alimenter régulièrement sa chaudière à vapeur et la charge du générateur.

Dans le service courant, l'allumage n'est pas fréquent, l'anthracite du générateur restant suffisamment incandescent pendant la nuit. Le gazomètre ne doit pas rester rempli pendant de longs

arrêts, un ou deux jours au maximum. Les épurateurs et autres appareils doivent être nettoyés au moins tous les deux à trois mois.

Actuellement les gazogènes de la station de Zurich ont une charge inférieure à leur capacité. Chacun d'eux peut, avec une charge complète de 800 kg d'anthracite, fournir 150 chevaux; ils ne produisent que la puissance nécessaire à l'actionnement de deux moteurs à gaz de 60 chevaux chacun entraînant les dynamos. On compte en installer un autre de 120 chevaux très prochainement pour satisfaire aux exigences du trafic.

Les deux moteurs de 60 chevaux sont des moteurs monocylindriques Crossley (celui qu'on installera prochainement sera à deux cylindres opposés). Leur mise en train s'effectue à l'aide d'un appareil spécial consistant en une petite pompe à main qui sert à comprimer un mélange détonant dont l'explosion graduelle suffit à faire démarrer les moteurs.

Dans les essais qui ont eu lieu pour se rendre compte des conditions d'exploitation actuelles de l'installation, la vitesse moyenne de chaque moteur était de 165 tours par minute avec 25 p. 100 d'admissions blanches. La puissance moyenne développée par l'un d'eux, d'après les nombres de deux journées d'essais de neuf heures chacune, était de 42,2 chevaux effectifs. La consommation par cheval-heure effectif a été trouvée de :

Générateur . . .	0,580	kg d'anthracite.
Chaudière. . . .	0,075	de menus et poussiers.
Total . . .	0,655	par ch-h effectif.

Il est à présumer qu'à la pleine charge la consommation sera encore réduite.

Le matériel générateur de cette station comprend deux dynamos principales, dont l'une pour la réserve et une dynamo auxiliaire. Une batterie d'accumulateurs, constituée par 300 éléments Tudor d'une capacité totale de 178 ampères-heure sous un régime de décharge de 59 ampères, est mise en dérivation avec la dynamo en service. Celle-ci est à enroulement compound et est reliée directement à ligne. Quand elle travaille en parallèle avec la batterie, l'enroulement série est mis en court-circuit : il ne sert que dans le cas de débit direct sur la ligne. Lorsque la consommation d'énergie dépasse celle que peut fournir la dynamo la batterie rétablit la différence en se déchargeant sur la ligne, tandis qu'en temps normal elle est chargée par l'excès du courant.

Le réglage de la batterie se fait au moyen de deux réducteurs, l'un automatique et l'autre à main, groupés avec les autres appareils complémentaires sur le tableau de l'usine.

Le réducteur automatique est double et sert à la fois à la charge et à la décharge de la batterie. Il est réglé de façon à maintenir constante la tension aux bornes de la canalisation. L'excès de courant que reçoit la batterie, lors des moments de charge, est réparti entre les éléments dont les touches correspondantes se trouvent en avant du levier de manœuvre. Les touches situées à l'arrière appartiennent aux 90 éléments de réglage divisés en 30 groupes de 3 éléments que l'on met dans le circuit de la petite dynamo auxiliaire, soit partiellement soit en totalité, à l'aide du réducteur à main.

Outre les appareils de mesure et de sécurité indispensables, le tableau comporte encore trois disjoncteurs dont deux sont affectés aux accumulateurs et le troisième à la ligne même. Ce dernier est à intensité maximum et n'entre en fonction que dans le cas d'un court-circuit sur la ligne.

Les dynamos qui servent actuellement sont des machines Oerlikon de 33 kilowatts chacune; elles sont enroulées pour fournir en moyenne 43 ampères sous 550 volts, avec des maxima de 120 à 150 ampères. Par suite de l'extension du réseau, ces deux machines doivent être prochainement remplacées par deux autres de 44 kilowatts. La dynamo auxiliaire, qui sera conservée, est une petite machine en dérivation de 16 ampères sous 150 volts au maximum.

Le courant produit à l'usine est entièrement utilisé sur deux des lignes du réseau de tramways de la ville. L'une d'elles, la ligne principale, a 2,14 km de longueur avec une pente moyenne de 46,5 p. 1000 et une rampe maximum de 70 p. 1000. La largeur de la voie est de 1 m et le plus petit rayon de courbure de 16 m. Les rails sont à large semelle et reposent, sans traverses ni longrines, sur un bon empierrement. L'alimentation des moteurs s'effectue directement par le fil aérien.

L'autre ligne a 1,46 km de longueur et est établie dans les mêmes conditions que la précédente sauf en ce qui concerne l'alimentation qui est réalisée sur cette ligne par un feeder de 120 mm^2 de section. Le retour du courant s'effectue pour les deux par les rails, munis à cet effet de bons éclissages électriques. Le rendement des lignes varie de 90 à 96 p. 100.

Le matériel roulant se compose de 14 voitures, dont 8 à 26 places ayant chacune un moteur de 10 chevaux, et 6 à 36 places, avec des moteurs de 14 chevaux. Toutes sont éclairées à l'aide de 5 lampes à incandescence. Elles sont munies de freins très puissants en raison des pentes. Chacune d'elles pèse 5 400 kg dans lesquels l'équipement électrique figure pour 2 400 kg. Leur vitesse moyenne est de 9,2 km à l'heure, arrêts compris; en palier, la vitesse maximum est de 13 à 14 km.

La puissance moyenne absorbée par une voiture chargée d'environ 700 kg est de 12 chevaux à la montée. La descente pouvant s'effectuer presque sans courant, il est possible d'admettre une puissance moyenne de 6 chevaux seulement pour le trajet aller et retour d'une voiture.

Le prix de l'énergie électrique pour moteurs et éclairage, en France. — Les tarifs auxquels l'énergie électrique est vendue en France sont extrêmement variables, comme on pourra en juger par l'examen des tableaux suivants où sont indiqués les prix et les différents procédés de vente.

Pour la force motrice nous ne connaissons que quelques usines ayant créé un tarif spécial, ce sont celles de :

Allassac (Corrèze) [hyd. 120 chx, cont.], 360 fr le cheval-an.

Carignan (Ardennes) [gaz pauvre, 60 chx, cont.], 0,60 le kilowatt-heure.

Charquemont (Doubs) [hyd. 1 500 chx, alt.], 200-325 fr le cheval-an.

Meximieux (Ain) [gaz pauvre, 50 chx, cont.], 500 fr le cheval-an.

Perrégaux (Algérie) [hyd. 60 chx, alt.], 200 fr le cheval-an.

Toulouse (Haute-Garonne) [vap. et hyd. 2300 chx, cont.], 500 fr le cheval-an.

Dans toutes les autres stations, l'énergie est vendue soit au kilowatt-heure, soit à la lampe-an, soit au carcel-an, soit enfin à forfait.

Pour la vente au kilowatt-heure, nous suivrons l'ordre progressif des tarifs en indiquant, le mode de production, la puissance en chevaux de l'usine génératrice, et la nature du courant produit.

0,35 fr. — Bossencourt (Aube) [hyd. 25 chx, cont.].

0,60 fr. — Nancy (Meurthe-et-Moselle) [vap. 800 chx, alt.] — Roquevaire (Bouches-du-Rhône) [vap. 30, alt.].

0,65 fr. — Amplepuis (Rhône) [gaz pauv. 30 chx, cont.].

0,70 fr. — Saint-Brieuc (Côtes du Nord) [hyd. 80 chx, alt.]. — Saint-Étienne (Loire) [vap. 720, cont.].

0,75 fr. — Montargis (Loiret) [vap, 460 chx, alt.]. — Salon (Bouches-du-Rhône) [340, alt.].

0,80 fr. — Allassac (Corrèze) [hyd. 120 chx, cont.]. — Beaucourt (Territoire de Belfort) [vap. 60, cont.]. — Chablis (Yonne) [vap. 40, cont.]. — Le Havre (Seine-Inférieure) [vap. 1 000, alt.]. Lesparre (Gironde) [vap. 70, cont.]. — Montvendre (Drôme) [hyd. 60, alt.]. — Montignac (Dordogne) [hyd. 120, cont.]. — Quintin (Côtes-du-Nord) [hyd. 62, cont.]. — Renaison (Loire) [hyd. et vap. 40 cont.], — Roubaix (Nord) [gaz pauv. 72, cont.]. — Steenwerk (Nord) [vap. 40, cont.]. — Saint-Romain (Seine-Inférieure) [vap. 40, cont,].

0,90 fr. — Chapareillan (Isère) [hyd. 1200 chx alt.]. — Clisson (Loire-Inférieure) [hyd. 30, cont.]. — Draguignan (Var) [hyd. et vap. 400, alt.]. — Les Marches (Savoie), hyd. ? ?, alt.]. — Néauphile-le-Château (Seine-et-Oise) [vap. 40, cont.].

1 fr. — Aix [450 chx cont.]. — Bolbec (Seine-Inférieure) [vap. 192, alt.]. — Bordeaux [vap. 800, cont.]. — Bruay (Pas-de-Calais) [vap. 150, cont.]. — Courthézon (Vaucluse) [hyd. 40, cont.]. — Lannion (Côtes-du-Nord) [gaz pauv. 50, cont.]. — L'Isle-sur-Sorgues (Vaucluse) [hyd. 100, cont.]. — Lyon (Rhône) [vap. 60, cont.]. — Moulins (Allier) [vap. 60, cont.]. — Paramé (Ille-et-Vilaine) [vap. 65, cont.]. — Perpignan (Pyrennées-Orientales) [vap. 235, cont.]. — Pau (Basses-Pyrénées) [hyd. et vap. 270, cont.]. — Manosque (Basses-Alpes) [vap. et hyd. 150, alt.]. — Vernet-les-Bains (Pyrénées-Orientales) [hyd. 60, cont.]. — Vincennes (Seine) [vap. 150, cont.]. — Toucy (Yonne) [vap. 140, alt.].

1,10 fr. — Auch (Gers) [vap. 34 chx, cont.]. — Levallois-Perret (Seine) [vap. ??, alt.].

1,15 fr. — Toulouse (Haute-Garonne) [vap. et hyd. 2 300 chx, cont.].

1,20 fr. — Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais) [vap. 600 chx, cont.]. — Dieppe (Seine-Inférieure) [vap. 250, cont.]. — Épinal (Vosges) [vap. ? ?, cont.]. — Ivry-la-Bataille (Eure) [hyd. 20, cont.]. — Mende (Lozère) [hyd. et vap. 120, cont.]. — Nantes (Loire-Inférieure) [vap. 335, cont.]. — Narbonne (Aude) [vap. 400, cont.]. — Nimes (Gard) [vap. 600, alt.]. — Pornic (Loire-Inférieure) [vap. 80, cont.]. — Provins (Seine-et-

Marne) [vap. 130, cont.]. — Puteaux (Seine) [vap. 1370, alt.]. — Rugles (Eure) [vap. et hyd. 45, cont.]. — Reims (Marne) [gaz pauv. 310, cont.]. — Troyes (Aube) [vap. 400, alt.].

1,25 fr. — Caussade (Tarn-et-Garonne) [hyd. et vap. ? ? chx, alt.]. — Deville (Seine-Inférieure) [hyd. 25, cont.]. — Guignes-Rabutin (Seine-et-Marne) [pét. 12,5, cont.]. — Nice [vap. 850, cont.].

1,30 fr. — Mortain (Manche) [hyd. et vap. 230 chx, cont.]. — Saint-Florent (Maine-et-Loire) [vap. 180, cont.]. — Saint-Hilaire-de-Harcourt (Manche) [hyd. et vap. 50, cont.].

1,40 fr. — La Ciotat (Bouches-du-Rhône) [vap. 140 chx, cont.]. — Lyon [vap. 60, cont.]. — Montpellier (Hérault) [vap. 500, cont.].

1,50. — Angoulême (Charente) [vap. 130 chx, cont.]. — Batna (Algérie) [vap. 100, cont.]. — Cannes (vap. et hyd. 600, alt. et cont.]. — Carignan (Ardennes) [gaz pauv. 60, cont.]. — Crécy-en-Brie (Seine-et-Marne) [hyd. 30, alt.], — Grenoble (Isère) [hyd. 440 alt.] — Libourne (Gironde) [vap. 80, cont.]. — Marseille [vap. 600, cont.].

Pour la lampe-an de 16 bourgies les prix de vente sont les suivants :

20 fr. — Lescar (Basses-Pyrénées) [hyd. 22 chx, cont.].

22,40 fr. — Charquemont (Doubs) [hyd. 1500 chx, alt.].

25 fr. — Andouillé (Mayenne) [hyd. 30 chx, cont.]. — Alet (Aude) [hyd. 40, cont.]. — Besse (Puy-de-Dôme) [hyd. 40, cont.]. — Ornans (Doubs) [hyd. 60, alt.].

27 fr. — Avesnes-les-Aubert (Nord) [vap. 35 chx, cont.]. — Saverdun (Ariège) [hyd. 75, cont.].

30 fr. — La Roquebrou (Cantal) [hyd. 35 chx, cont.]. — Saint-Genix-d'Aoste (Savoie) [hyd. 100, cont.].

33 fr. — Vaas (Sarthe) [hyd. 13 chx, cont.].

35 fr. — Dourgne [hyd. 45 chx, cont.].

36 fr. — Gabiant (Hérault) [gaz pauv. 16 chx, cont.]. — Grenade (Haute-Garonne) [hyd. 50, cont.]. — Joyeuse (Ardèche) [hyd. 40, cont.]. — Le Muy (Var) [hyd. 60, alt.]. — Moustier-Sainte-Marie (Basses-Alpes) [hyd. 12, cont.]. — Prades (Pyrénées-Orientales) [hyd. 140, cont.]. — Saint-Geniès (Hérault) [gaz pauv. 20, cont.]. — Villars-de-Lans (Isère) [hyd. et vap. 25, cont.]. — Villeneuve-les-Béziers (Hérault) [gaz pauv. 60, cont.].

40 fr. — Bourganeuf (Creuse) [hyd. 100 chx, cont.]. — Draguignan (Var) [hyd. et vap. 400, alt.]. — Lambesc (Bouches-du-Rhône) [hyd. 13, cont.]. — Lasalle (Gard) [vap. et hyd. 65, cont.]. — Meximieux (Ain) [gaz pauv. 50, cont.]. — Quillan (Aude) [hyd. 40, cont.]. — Voreppe (Isère) [hyd. 30, alt.].

42 fr. — Maubourguet (Hautes-Pyrénées) [hyd. 40 chx, cont.]. — Modane (Savoie) [hyd. 60, cont.].

45 fr. — Montauban (Tarn-et-Garonne) [hyd. 60 chx, cont.]. — Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie) [hyd. 70, cont.].

48 fr. — Hennebont (Morbihan) [vap. 180 chx, cont.]. — Lagnieu (Ain) [vap. 35, cont.].

50 fr. — Auffay (Seine-Inférieure) [hyd. 28 chx, cont.]. — Buis-les-Baronnies (Drôme) [hyd. 50, alt.]. — Crécy-en-Brie (Seine-et-Marne) [hyd, 30, alt.]. — Montfort-sur-Isle (Eure) [hyd. 12, cont.]. — Montfavet (Vaucluse) [hyd. 40, cont.]. — Montpezat (Ardèche) [hyd. 50, alt.]. — Vizilles (Isère) [hyd. 35, cont.]. — Saint-Jean (Drôme) [hyd. 35, alt.].

54 fr. — Foix (Ariège) [hyd. 80 chx, cont.].

55 fr. Saint-Donnat (Drôme) [hyd. 30 chx, cont.]. — Nevers (Nièvre) [vap. 70, cont.].

60 fr. — Argentan (Orne) [vap. 60 chx, cont.]. — Bourg-Saint-Andéol (Ardèche) [vap. 80, cont.]. — Bruay (Pas-de-Calais) [vap. 150, cont.]. — Clisson (Loire-Inférieure) [hyd. 30, cont.]. — Cormeilles (Eure) [hyd. 17, cont.]. — Florensac (Hérault) [hyd. 280, alt.]. — La Motte-Chalançon (Drôme) [hyd. 30, alt.]. — Mauriac (Cantal) [hyd. 30, cont.]. — Oyonnax (Ain) [hyd. 300, cont.]. — Pont-Audemer (Eure) [hyd. 120, cont.]. — Pont-de-Vaux (Ain) [vap. 80, cont.]. — Saint-Aignan (Loir-et-Cher) [vap. 50, cont.].

63 fr. — Montluçon (Allier) [vap. 50 chx, cont.].

72 fr. — Guignes-Rabutin (Seine-et-Marne) [pétr. 12,5 chx, cont.]. — La Roche-sur-Foron (Haute-Savoie) [hyd. et vap. 100, cont.]. — Pertuis (Vaucluse) [hyd. et vap. 150, cont.].

80 fr. — Alais (Gard) [vap. 450 chx, cont.].

90 fr. — Compiègne (Oise) [vap. 130 chx, cont.].

Pour les lampes-an de 10 bougies, les prix sont :

15 fr. — Chateaulin (Finistère) [hyd. 50 chx, cont.].

18 fr. — La Terrasse (Isère) [hyd. 50 chx, alt.]. — Neuville-sur-Ain [hyd. 100, alt.].

20 fr. — Doulincourt (Haute-Marne) [hyd. 35 chx, cont.].

24 fr. — Allanche (Cantal) [hyd. 32 chx, cont.].

25 fr. — La Bourboule (Puy-de-Dôme) [hyd. 300 chx, cont.].

30 fr. — Alby (Haute-Savoie) [hyd. 30 chx, cont.]. — Aunay-sur-Odon (Calvados) [vap. 140, cont.]. — Campan (Hautes-Pyrénées) [hyd. 30, cont.]. — Champeix (Puy-de-Dôme) [hyd. 130, alt.]. — Latour (Pyrénées-Orientales) [hyd. 40, alt.]. — Bœn-sur-Lignon (Loire) [hyd. 35, alt.].

36 fr. — Craon (Mayenne) [vap. 40 chx, cont.]. — Cuxac d'Aude [hyd. 35, cont.]. — Lannion (Côtes-du-Nord) [gaz pauv. 50, cont.]. — Le Péage (Isère) [vap. 25, cont.]. — Moret (Seine-et-Marne) [gaz pauv. 50, cont.]. — Riez (Basses-Alpes) [hyd. et vap. 90, alt.]. — Vic-en-Bigorre (Hautes-Pyrénées) [hyd. et vap. 40, cont.]. — Saint-Paul (Pyrénées-Orientales) [hyd. 22, cont.].

39 fr. — Semur (Côte-d'Or) [hyd. 35 chx, cont].

40 fr. — Yenne (Savoie) [hyd. 24 chx, cont.]. — Valleraugues (Gard) [hyd. 45, cont.].

42 fr. — Saint-Saens (Seine-Inférieure) [hyd. 12 chx, cont.].

45 fr. — Deville (Seine-Inférieure) [hyd. 25 chx, cont.].

46 fr. — Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales) [hyd. 110 chx, cont.].

48 fr. — Montpon-sur-l'Isle (Dordogne) [hyd. 40 chx, cont.]. — Saint-Jean-de-Fos (Hérault) [hyd. 30, cont.]. — Villeneuve-sur-Lot [vap. 30, cont.].

54 fr. — Aubenas et Ucel (Ardèche) [hyd. et vap. 320 chx, alt.].

60 fr. — Aubagne (Bouches-du-Rhône) [hyd. 65 chx, cont.].

Des prix de vente au carcel-an il résulte que la moyenne de ces prix est d'environ 50 fr.

Quelques usines vendent l'énergie électrique pour l'éclairage à la lampe-heure, au carcel-heure et à la lampe-mois.

D'ailleurs les divers modes de vente ne sont pas exclusifs les uns des autres ; quelques usines adoptent, suivant les cas, tel mode de vente qui convient le mieux ; pour cette raison une même usine se trouve indiquée à plusieurs reprises dans les tableaux ci-dessus.

La transmission de l'énergie par l'électricité. — Notre confrère *The Electrician*, de Londres (n° du 28 mai 1897) vient de publier le compte rendu des conférences faites par divers membres de l'Institution des ingénieurs civils de Londres à l'occasion de la première réunion annuelle de cette société du 25 au 27 mai dernier.

Les sujets traités dans cette première réunion étant, pour la plus grande partie, déjà connus de nos lecteurs, nous nous bornerons à en faire une analyse des plus succinctes en renvoyant ceux qui s'y intéressent particulièrement aux mémoires originaux.

Après l'adresse présidentielle de M. J.-Wolfe Barry, M. W. H. Preece ouvre la première séance par une conférence sur « La transmission de l'énergie par l'électricité ». L'auteur débute par l'exposé des conditions à remplir pour obtenir une transmission d'énergie électrique à grande distance — dans le cas où cette énergie est produite par l'utilisation des forces naturelles — sans trop de pertes résultant de la transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique, et de toutes les transformations intermédiaires auxquelles cette énergie est soumise avant son utilisation à un point éloigné de la source. Il traite ensuite assez longuement la question de la transmission proprement dite. Prenant pour base une quantité donnée d'énergie produite, il expose très clairement les pertes successives et montre l'influence sur ces pertes de la longueur et de la section des conducteurs et de la différence de potentiel employées.

Après avoir dit quelques mots sur les différents voltages employés en Europe et en Amérique, il donne une liste des principales transmissions d'énergie électrique récemment installées et fonctionnant dans les meilleures conditions de rendement. Ces stations appartiennent pour la plupart aux États-Unis et au Canada. On y trouve les noms déjà connus de nos lecteurs, des stations du Niagara, de Sacramento, Ogden, Big Cottonwood, etc. ; la transmission de Tivoli (Italie) est citée comme une des transmissions les plus avantageuses ; les transmissions récemment créées en Suisse, en France et en Allemagne sont également citées, mais l'auteur ne s'y est pas attaché particulièrement.

M. Preece donne ensuite quelques explications relatives à la production de l'énergie électrique au moyen de la vapeur ou du gaz pauvre. En ce qui concerne ce dernier moyen de production, il rappelle que dans une note publiée antérieurement (16 mars 1896), M. Humphery estimait qu'avec une batterie de gazogènes Mond, il était possible, en se plaçant dans certaines conditions, de produire l'énergie électrique à raison de 1,84 centimes le kilowatt-heure et de vendre cette même quantité 10 centimes seulement.

M. Preece termine sa communication par un court exposé des avantages généraux de l'emploi de l'électricité comme énergie motrice et dans son application à la commande des transmissions dans les ateliers.

Deux autres conférences, une de M. E.-B. Ellington, « La transmission de la force par l'énergie hydraulique », et l'autre de M. John Hopkinson, « La transmission de l'énergie »; font suite à celle de M. Preece. La première se rapporte à une transmission purement hydraulique ; aussi nous n'y insisterons pas. La seconde a pour objet la comparaison des divers modes de transmission de l'énergie : par l'électricité, l'eau, l'air, etc.

L'air comprimé est comparé aux transmissions mécaniques et par câbles, et de cette comparaison il ressort que les pertes dues au refroidissement par détente dans le premier cas sont sensiblement égales à celles dues au frottement dans le second. M. Hopkinson examine ensuite l'énergie électrique et l'énergie hydraulique. En peu de mots, il expose les avantages et inconvénients de chacun de ces systèmes et, pour mieux les faire ressortir, termine en citant quelques applications de l'un et de l'autre.

Ces trois conférences sur la transmission de l'énergie ont donné lieu à une discussion très intéressante et très documentée à laquelle ont pris part MM. Ayrton, Siemens, Walker, Sprague, Forbes, Barr, Ellington, etc., et sur laquelle nous aurons occasion de revenir.

La solubilité de l'acétylène dans l'acétone. — Les dissolutions d'acétylène dans l'acétone dont notre collaborateur, M. Hess, faisait récemment (*L'Éclairage Électrique* du 20 mars 1897, t. X, p. 548) ressortir les avantages au point de vue de la distribution de l'acétylène, ont donné lieu à plusieurs communications de MM. Berthelot et Vieille, insérées dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 10 mai (t. CXXIV, p. 984 à 1004).

Tout d'abord ces savants ont étudié les forces élastiques de l'acétylène dissous dans l'acétone à diverses températures. Le tableau suivant renferme les pressions développées, par cm², dans un récipient de 824 cm³, renfermant 301 gr (376 cm³) et 315 gr (394 cm³) d'acétone, qui a été saturé à une température de 15° et sous des pressions initiales de 7 kg (1re série), 12,5 kg (2e série), 20,5 kg (3e série) environ; en faisant croître progressivement les températures on a obtenu :

Première série.		Deuxième série.		Troisième série.	
Temp.	Pressions.	Temp.	Pressions.	Temp.	Pressions.
14°,0	6,74 kg	6°,4	10,34 kg	2°,8	16,17 kg
26°,3	8,70 »	14°,0	12,25 »	13°,0	19,98 »
35°,7	10,55 »	19°,9	14,16 »	19°,9	22,63 »
50°,1	13,94 »	36°,0	19,46 »	25°,0	24,76 »
59°,6	16,30 »	(50°,5)	(22,64 »)	36°,0	30,49 »
74°,5	20,53 »	(60°,1)	(28,36 »)	(50°,5)	(33,21 »)
Poids d'acétone.		Poids d'acétone.		Poids d'acétone.	
301 gr		315 gr		315 gr	
Poids d'acétylène.		Poids d'acétylène.		Poids d'acétylène.	
69 gr		118 gr		203 gr	

Il y a lieu de remarquer que les pressions normales ne s'établissent à chaque température que par une agitation énergique du récipient. Cet état limite ne parait pas avoir été complètement atteint aux températures les plus élevées des deuxième et troisième série (nombres entre parenthèses).

Dans ces trois séries d'expériences le volume d'acétylène dissous, par litre d'acétone et par kilogramme de pression absolue à 10°, a varié de 23 à 24,6 litres environ, ce qui fait, sous une pression de P kilogrammes, à peu près $28 \times P$ grammes par litre initial d'acétone ou $35 \times P$ par kilogramme d'acétone ; ces résultats confirment le fait déjà signalé par MM. Claude et Hess que le volume dissous croît à peu près proportionnellement à la pression, du moins entre 0 et 35°.

Les nombres de la première série, qui a été la plus étendue, sont très exactement représentés par une formule simplifiée à trois constantes, la même que celle que Regnault a appliquée à la représentation des tensions de vapeur saturée d'un nombre considérable de corps volatils :

$$\log F = a + b\alpha^t,$$

F étant évalué en millimètres de mercure et a étant égal à 5,1 134, b à 1,5318 et $\log \alpha$ à 1,99696.

Ces nombres indiquent, à quelques centièmes près, les pressions de l'acétylène, car, si l'on calcule, au moyen des données de Regnault, les forces élastiques de la vapeur d'acétone mélangée à l'acétylène, on trouve que, vers 50°, la pression due à cette vapeur n'est que les 2,4 centièmes de la pression totale dans la troisième expérience et les 5,8 centièmes dans la première où la dose du *dissolvant* est plus grande.

Essais d'ascenseurs Sprague à Minneapolis. — Depuis près d'un an, l'hôtel de ville et la justice de paix de Minneapolis sont pourvus d'ascenseurs électriques construits par la Compagnie Sprague et qui ont été récemment soumis à une série d'essais.

M. Frank-J. Sprague, dans le rapport de ces essais publié par *The Electrical Engineer* du 12 mai, rappelle que les conditions imposées à la Compagnie étaient que chaque ascenseur devait être en mesure d'élever un poids de 1 132 kg à la vitesse de 105 m par minute sans que la puissance nécessaire dépassât 40 chevaux; à la descente, la vitesse ne devait pas dépasser 75 m à la minute, le mécanicien seul étant dans la cage.

Trois essais successifs ont été effectués sur un ascenseur à vis dont on a fait varier la charge. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	Epreuve n° 1.	Epreuve n° 2.	Epreuve n° 3.
Charge	340 kg	771,45 kg	1 132 kg
Poids en excès de l'équilibre	691 »	1 132 »	1 493,54 kg
Vitesse moyenne d'ascension	116 m	105,60 m	105,30 m
Différence du potentiel aux bornes du moteur	108,7 volts	109 volts	112,5 volts
Intensité du courant	199,8 amp.	265,5 amp.	351,5 amp.
Puissance nécessaire	29,1 chevaux	40,4 chevaux	53 chevaux.
Puissance théorique	18,1 »	26,7 »	35 »
Rendement aux bornes du moteur	62,2 p. 100	66 p. 100	66 p. 100

Les résultats obtenus dans l'essai n° 2 sont précisément ceux qui étaient garantis par les constructeurs. Une autre série d'essais effectués sur ascenseur semblable a donné des résultats concordants et a permis d'établir que ces appareils fonctionnaient dans de bonnes conditions avec une vitesse dépassant de 2 à 10 p. 100 la vitesse garantie, la puissance moyenne nécessitée dans les deux cas étant de 39,5 chevaux.

Après ces essais, on a déclenché les freins de sûreté dont chacun des ascenseurs est muni, afin de voir quelle serait la rapidité de la descente en cas d'accident à ces freins; la cage est descendue un peu plus rapidement qu'à l'ordinaire, mais sans toutefois prendre une vitesse dangereuse.

Ce modèle d'ascenseur est de construction relativement simple et ne nécessite que peu de frais d'entretien. L'usure ne se porte que sur la vis qui peut être remplacée aisément et sans dépenses onéreuses.

L'auteur donne ensuite les résultats d'essais d'un ascenseur à engrenages, garanti comme permettant d'élever un poids de 1 132 kg avec une vitesse de 60 m par minute et une puissance de 35 chevaux et ne devant pas descendre avec une vitesse supérieure à 60 m par minute, le mécanicien étant seul dans la cage. La moyenne des résultats obtenus dans ces essais est donnée ci-dessous :

Charge	1 287 kg
Poids en excès de l'équilibre	1 141 »
Vitesse moyenne d'ascension	64,8 »
Différence de potentiel aux bornes du moteur	98,5 volts
Intensité du courant	210,6 amp
Puissance dépensée	27,8 chx
Puissance théorique	16,4 »
Rendement aux bornes du moteur	59 p. 100

La dépense de fonctionnement de trois de ces ascenseurs a été déterminée en intercalant dans le circuit de leurs moteurs, dès le début des essais, un wattmètre enregistreur Thomson. Le premier jour ce wattmètre accusait une consommation de 94,4 kilowatts-heure pour les trois. Le prix de l'énergie, à Minneapolis, étant, d'après le tarif spécial concernant les moteurs, de 0,50 fr le kilowatt-heure avec une réduction de 50 p. 100 quand la consommation s'élève au-dessus d'une certaine limite, le prix de revient du fonctionnement des trois ascenseurs compté à raison de 94,4 kilowatts-heure par jour, serait de 708 fr par mois.

Pour les trois ascenseurs à vis on a trouvé une consommation moyenne 72,1 kilowatts-heure par jour.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 3 Juillet 1897. 4e Année. — N° 28.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

ANALYSE ÉLECTROLYTIQUE

L'électrolyse des solutions salines a permis de doter l'analyse quantitative gravimétrique de procédés aussi commodes que rigoureux. Depuis une trentaine d'années, ces nouvelles méthodes ont été étudiées et développées par un certain nombre de savants qui ont consacré à cette branche de la science de longues et patientes recherches. En s'aidant des progrès effectués dans l'étude des phénomènes électriques, Clarke, Beilstein, Frésénius, Bergmann, Schmith, Luckow, Herpin, Riche, Classen et autres, sont arrivés à préciser les conditions dans lesquelles il faut se placer pour réussir, et à réunir ces procédés en un corps de doctrine qui fait l'objet de plusieurs traités spéciaux dont les indications deviennent classiques aujourd'hui (1).

On possède en effet maintenant tout ce qu'il faut pour rendre ces opérations réellement pratiques et pour leur permettre d'acquérir droit de cité, non seulement dans des laboratoires de recherches scientifiques, mais aussi dans des laboratoires industriels où certaines de ces méthodes offrent des avantages tout spéciaux de commodité et de rapidité d'exécution. La réunion de ces avantages est de date assez récente. Pendant longtemps on a été aux prises avec des difficultés d'ordre matériel qui faisaient reculer bien des personnes. Tous ceux qui se sont occupés de ce genre d'opérations savent que pour obtenir des dépôts métalliques purs et adhérents, pour séparer tout l'élément que l'on veut doser, etc., en un mot, pour conduire une analyse à bonne fin, il faut se placer dans des conditions bien déterminées. La composition des liqueurs, la constance du courant, son intensité, sa densité sont autant de facteurs de première importance dont il faut déterminer la valeur applicable à chaque cas particulier et qu'il faut pouvoir contrôler et graduer à volonté.

Il est généralement facile aujourd'hui de se procurer le courant dont on a besoin. Des accumulateurs pour une petite installation, une dynamo de construction convenable pour un grand laboratoire, constituent des sources d'électricité dont les bons services, en ce qui nous occupe, ont été éprou-

(1) Je signale à cette occasion l'apparition de la 4e édition allemande de l'excellent traité de Classen. Ce livre contient actuellement toutes les indications les plus récentes sur les matières qu'il traite et il serait bien à désirer, pour les personnes peu familiarisés avec la langue allemande, que la traduction francaise, faite sur la 2e édition allemande en 1886, fut mise au courant des progrès réalisés, car sur bien des points elle est maintenant très en retard.

vés par de fréquents usages et dont on disposera dans un grand nombre d'établissements, grâce à la diffusion de plus en plus grande des applications de l'électricité. A leur défaut, on peut se servir aussi de piles hydro ou thermo-électriques, mais sans y trouver la constance de courant et la commodité d'emploi des premiers appareils.

Dans ces dernières années, l'usage s'est définitivement établi d'exprimer en *volts* et en *ampères* les mesures du courant employé pour une opération déterminée. Il suffit par conséquent de jeter les yeux sur un cadran parcouru par une aiguille, pour être fixé immédiatement sur les valeurs du moment. Un seul voltmètre ou ampèremètre peut d'ailleurs servir pour un assez grand nombre d'opérations simultanées qui seront contrôlées successivement au gré de l'opérateur. La substitution de ces appareils à l'ancien voltamètre à gaz tonnant est un progrès notable dans l'exécution de ces dosages. En effet, outre l'incommodité de son emploi, le voltamètre avait encore l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner au-dessous d'une certaine force électromotrice, c'est-à-dire, d'être inutilisable dans certains cas, puis de fournir des mesures difficilement comparables, à cause des différences qui existent dans la construction des divers appareils.

Enfin, si d'une part il faut atteindre une certaine force électromotrice pour que l'électrolyse d'une solution saline puisse se faire; si, d'autre part, la quantité de métal précipité dans l'espace d'un certain temps est fonction de l'intensité du courant qui traverse la cellule; la *qualité* du dépôt dépend en outre du rapport existant entre la surface de la cathode et l'intensité du courant. On sait que cette relation porte le nom de « *densité du courant* »; pour les dosages électrolytiques, les nombres exprimant les intensités sont habituellement rapportés à 100 centimètres carrés de cathode, c'est ce que l'on appelle alors « *la densité normale* » pour laquelle plusieurs notations sont actuellement en usage, par exemple DN_{100}, etc. Il faut donc connaître la surface exacte de cathode mouillée par l'électrolyte en même temps que l'ampérage du courant.

Pour simplifier ce qui concerne ce point particulier, Gröger [1] a imaginé de prendre pour cathode une feuille carrée de platine ayant 70,7 mm de côté et donnant précisément un décimètre carré de surface en comptant les deux faces. Cette lame pèse environ 12 grammes; elle est soutenue par un fil de platine et suspendue entre les deux branches d'une anode en fil de platine replié de manière à répartir le courant uniformément sur toute la surface. Lorsque cette cathode est complètement immergée, l'ampèremètre donne donc directement la densité normale.

En ajoutant à ces données, composition de l'électrolyte, force électromotrice et densité du courant, la température du bain pour lequel elles sont établies, il sera toujours facile de se placer dans les mêmes conditions que pour une opération antérieure et d'obtenir par conséquent les mêmes résultats.

Les lecteurs de *L'Éclairage Électrique* trouveront dans la suite un résumé des progrès accomplis dans les méthodes de dosage électrolytique.

DOSAGE DU PLOMB

La précipitation de ce métal sur l'anode sous forme de bioxyde, déjà indiquée en 1843 par Becquerel et employée plus tard par M. Riche, a été plus spécialement étudiée par Luckow; des expériences faites au laboratoire de Munich ont en outre établi les conditions d'acidité de la liqueur et de densité du courant qu'il faut réaliser pour réussir les dosages. Classen a fait voir aussi que la difficulté d'obtenir un dépôt adhérent avec une quantité d'oxyde un peu forte peut être aisément évitée par l'emploi des capsules dépolies à l'aide d'un jet de sable dont il a le premier indiqué les avantages. Dans une

(1) *Zeits. für angewan. Chem.*, 1895, p. 625.

thèse de Heidelberg (1895, p. 16), Nahum Eisenberg cite des expériences qui confirment ces indications.

A. Kreichgauer s'est aussi occupé du dosage électrolytique du plomb (thèse de Wurzburg, 1894). La première partie de son travail est relative à la précipitation du plomb en solution azotique. On y trouve d'abord une discussion sur la teneur en eau du dépôt de bioxyde et sur la manière de le sécher. L'auteur se range à l'opinion exprimée autrefois par M. Riche, à savoir que le bioxyde se dépose anhydre et prétend, par suite, que les températures de dessiccation, 110°, 150° ou 190° successivement préconisées fournissent le même résultat, sauf que la matière séchée à haute température attire l'humidité avec moins de rapidité que celle qui est séchée à température basse. En tout cas, il est prudent de peser la capsule couverte.

La question de l'adhérence est aussi discutée assez longuement. Kreichgauer croit avoir démontré que pour un dépôt relativement considérable, elle est due principalement à l'uniformité de la densité du courant sur toute la surface et à l'éloignement des gaz nuisibles. Les capsules dépolies de Classen remplissent précisément la première de ces conditions, les innombrables pointes dont leur surface est formée possédant partout une charge sensiblement égale; la rugosité augmente en outre l'adhérence.

La durée de l'électrolyse peut être notablement diminuée si l'on élève la température de l'électrolyte; l'adhérence du dépôt est aussi bonne qu'à froid si l'on a soin de se servir d'une capsule parfaitement propre et si l'on chauffe uniformément partout à 50° ou 60°. Il est facile d'obtenir ce dernier résultat en plaçant la capsule à 1 ou 2 centimètres au-dessus d'une toile d'amiante sous laquelle se trouve un bec Bunsen ordinaire.

Certaines conclusions de ces recherches ont été combattues dans deux notes insérées dans le *Zeitschrift für Electrochemie* (1896, p. 586 et 598). Mais après l'appréciation peu favorable exprimée sur ce dernier travail par Classen lui-même (même recueil, 1896, p. 618) on ne sait quelle confiance on peut accorder aux expériences et aux assertions de l'auteur, même en dehors de ce qui est notoirement erroné.

Dans la deuxième partie de son mémoire, Kreichgauer s'occupe de l'analyse des galènes. Si l'on attaque la galène par l'acide chlorhydrique, on élimine d'abord le soufre, le sélénium, l'acide carbonique, la silice de la gangue, l'argent et le charbon s'il y en a. D'autre part, les éléments présents dans cette solution peuvent être rangés en deux groupes d'après la manière dont ils se comportent avec une lessive de potasse employée en excès.

α) Ceux qui ne sont pas redissous : Ag, Bi, Cu, Ni, Co, Mn, Fe, Mg, C et gangue.

β) Ceux qui se redissolvent ou restent dissous : Pb, As, Zn, Al, Sb, Ca, Ba, Cl.

Le groupe α) étant séparé par un filtre, les éléments du groupe β) sont seuls à prendre en considération. Parmi ceux-ci, l'arsenic rend impossible la précipitation électrolytique du plomb ; l'antimoine se précipite partiellement avec le plomb lui-même ; quant au chlore, il retarde la séparation du plomb et empêche le dépôt d'adhérer. Le zinc, l'aluminium, le calcium et le baryum n'ont pas d'influence nuisible.

En partant de ces observations et en s'appuyant sur les travaux du professeur Medicus, Kreichgauer indique le procédé suivant pour l'analyse des galènes ne renfermant que quelques centièmes au plus d'antimoine. On place environ 0,5 gr de la galène finement pulvérisée sur le fond d'un gobelet sec de 400 à 500 cm³ de capacité, on ajoute un peu d'acide chlorhydrique concentré et l'on chauffe doucement sur un bain-marie ou sur une toile d'amiante. Lorsque l'action de l'acide cesse, on en ajoute de nouveau, jusqu'à ce que tout le sulfure soit transformé en chlorure. Si le minerai ne renferme pas de schistes, la fin de l'attaque est indiquée par la disparition des points noirs ; cependant il est toujours bon de s'assurer avec du papier imprégné d'oxyde de plomb, qu'il ne se dégage plus

d'hydrogène sulfuré. On chauffe ensuite plus fort jusqu'à redissolution des chlorures et à ce moment on ajoute une lessive de potasse (1 part. KOH solide et 3 part. d'eau), de façon à redissoudre le plomb, puis on filtre.

Lors de l'introduction de la potasse dans le liquide, il se produit fréquemment une coloration brune ou noire; elle provient de ce que la potasse a formé du sulfure en dissolvant des particules de soufre déposées sur le verre de montre qui recouvre le gobelet et produites par l'oxydation de l'hydrogène sulfuré qui se dégage pendant l'attaque du minerai.

(Pour éviter ce dépôt, on peut soulever de temps en temps le verre de montre pendant que la dissolution s'effectue et souffler dans le gobelet.) Si la matière brunit, on filtre malgré cela la solution alcaline, puis on redissout le résidu brun ou noir à l'aide d'acide chlorhydrique étendu de 2 ou 3 parties d'eau et en chauffant pendant un certain temps, après quoi l'on précipite à nouveau par la potasse en excès et l'on filtre. Les deux solutions alcalines filtrées sont ensuite réunies.

S'il y a de l'antimoine, on ajoute au liquide filtré 1 à 2 grammes d'acide tartrique et l'on chauffe à 70°-100°, puis, dans le liquide refroidi, on dirige un fort courant de gaz carbonique. Tout le plomb se précipite en 1 heure et demie à 2 heures sous forme de carbonate, tandis que l'arsenic, l'antimoine et le chlore restent dissous. Si le liquide renferme un trop grand excès d'alcali libre, on peut d'abord saturer partiellement avec un peu d'acide chlorhydrique.

Après avoir laissé reposer le précipité pendant quelques minutes, on décante sur un filtre puis on lave avec de l'eau chaude jusqu'à disparition de la réaction du chlore. Les carbonates sont enfin dissous dans de l'acide azotique (1 part. $HAzO^3$, $d = 1,4$, et 7 part. H^2O) et cette solution est soumise à l'électrolyse suivant les principes connus.

La recherche du plomb par voie électrolytique dans l'urine a été étudiée par P. Weinhardt [1]. En opérant directement sur l'urine on éprouve des difficultés qu'il faut vraisemblablement attribuer à des phénomènes de réduction dus aux matières organiques contenues dans le liquide. L'auteur recommande de concentrer d'abord l'urine jusqu'à moitié de son volume, de chauffer ensuite au bain-marie avec de l'acide azotique à 65 p. 100 et d'évaporer enfin à siccité. Le résidu est repris par de l'acide azotique et de l'eau distillée de manière à faire un litre; c'est dans ce liquide chauffé à 50° que l'on fait passer le courant d'un élément Bunsen. S'il y a du plomb, il se dépose sur l'anode sous forme de bioxyde brun. La méthode doit permettre de trouver 1 mmg de nitrate de plomb dans 1 litre de liquide électrolysé.

(*A suivre.*)

G. Arth,
Chargé d'un cours de Chimie industrielle à la Faculté des sciences de Nancy.

(1) *Pharm. central*, H. 37, p. 759 et 760.

LES LAMPES A ARC [1]

Le mécanisme très simple de la lampe E. Thomson représentée par les figures 1 à 3 fonctionne comme il suit. Au repos, les armatures I I des électros *c*, *c*, montés en série ou en différentiels, sont ainsi que leur plateau Y, au bas de leur course, avec les plans inclinés O O des leviers L L', articulés à I I par les menottes Q, appuyés, comme l'indique la figure 2, sur le collet inférieur de la douille S au charbon R, de manière à

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 11; 27 mars 1897.

desserrer, par leur pivotement autour des axes K, les mâchoires J J′ du frein de R. Au

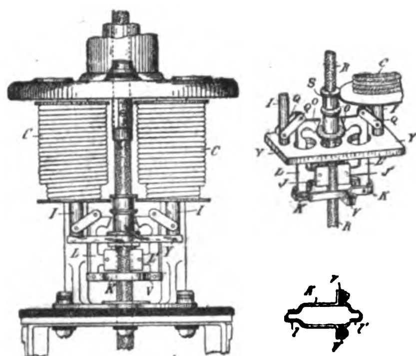


Fig. 1 à 3. — Lampe E. Thomson (1896).

lancé du courant, la levée des armatures I I, modérée par un dash-pot, entraînant L L′ par la poussée oblique des menottes Q, serre ce frein et amorce l'arc qui se maintient ensuite par le jeu des électros *c*, *c*, et des plans in-

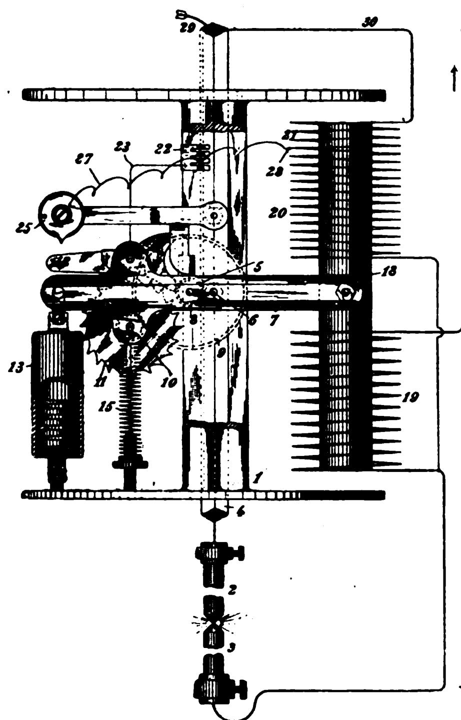


Fig. 4. — Lampe différentielle Davis (1897).

clinés O sur le collet inférieur de la douille S, dont la descente et la montée sont limitées par les collets supérieurs et intermédiaire. La fourrure V permet de régler exactement l'écart des pivots L, L, de K.

A son entrée dans la lampe de H. P. Davis représentée par la figure 4 le courant admis en 29 passe, par 4, 2 et 3, au solénoïde en série 19 qui, abaissant son armature 18 et faisant ainsi pivoter le levier 7 autour de 6, soulève le charbon 2 par le pignon 8, alors immobilisé par l'échappement 11, et la crémaillère de 4; en même temps, le levier 12 vient fermer en 25 le circuit 27, 22, 28 du solénoïde en dérivation, formé de deux enroulements opposés 20 et 21. Quand la longueur de l'arc augmente trop, le solénoïde 21 est mis en court-circuit par 27, 22, 23, et 20 qui agit alors seul, soulevant 18, rompt le contact de 12 avec 25. Après un déplacement suffisant pour rapprocher un peu les charbons; mais cette rupture du contact 25, rompant le court-circuit 27, rétablit dans la dérivation 30, 4, 22, 28 le solénoïde 21, opposé à 20 et qui, abaissant 18, renclenche par 12 la roue d'échappement 11, arrête la descente de 4, puis referme le contact 25. Un dashpot 13 amortit les mouvements du levier 7, dont le ressort 15 permet de régler la sensibilité. Le réglage s'opère ainsi en différentiel et par mouvements très petits des charbons, d'une façon presque continue.

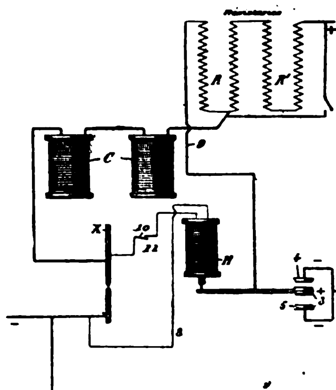


Fig. 5. — Lampe Wheless (1896). Schéma des circuits.

Les solénoïdes C, C de la lampe Wheless agissent (fig. 5 à 8) sur une traverse *ee*, dont les bielles *ff* serrent ou desserrent, par les excentriques *g g*, le frein *g′* du charbon supé-

rieur X. La levée de ce charbon fait basculer un étrier *m*, dans lequel roule un contre poids *m'*, qui vient ainsi faciliter par son balourd l'action des électros C C. Lorsque la longueur de l'arc augmente ou diminue, l'électro H, monté en dérivation 8 attire ou lâche (fig. 7), son armature de manière à fermer par 5 ou par 4 la dérivation Q, à résistances R, telles que cette fermeture affaiblisse le courant en C juste assez pour permettre au charbon de se rapprocher; mais, aussitôt, la résistance de l'arc diminuant, l'armature de H reprend sa position moyenne entre les contacts 4 et 5, et *y* reste tant que le potentiel de l'arc ne s'écarte pas de la valeur fixée par le contrepoids S.

Une résistance complémentaire R_1 (fig. 5) permet de monter la lampe en quantité sur un circuit d'incandescence. Enfin, quand le

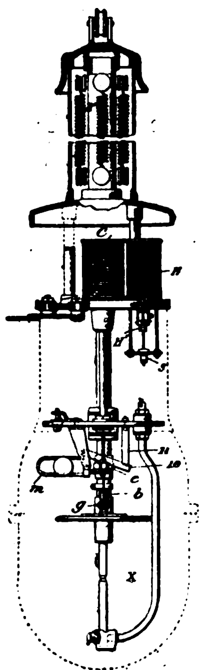


Fig. 6. — Lampe Wheless. Ensemble.

charbon supérieur, presque entièrement brûlé, est laché par son frein, la chute de la traverse C coupe en 10, 11 le circuit de H.

Le frein de la lampe Brockie est (fig. 9) excessivement simple : à l'amorçage, la poulie B tourne de l'angle permis par son taquet D, sans opposer aucune résistance à la corde C des charbons; puis, immobilisée par

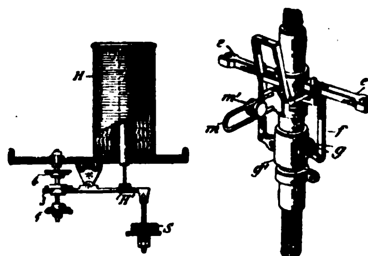


Fig. 7 et 8. — Lampe Wheless. Détail du frein.

ce taquet, elle agit automatiquement sur C comme un frein, pendant le réglage de l'arc. Le même résultat est obtenu, en (fig. 10 et 11)

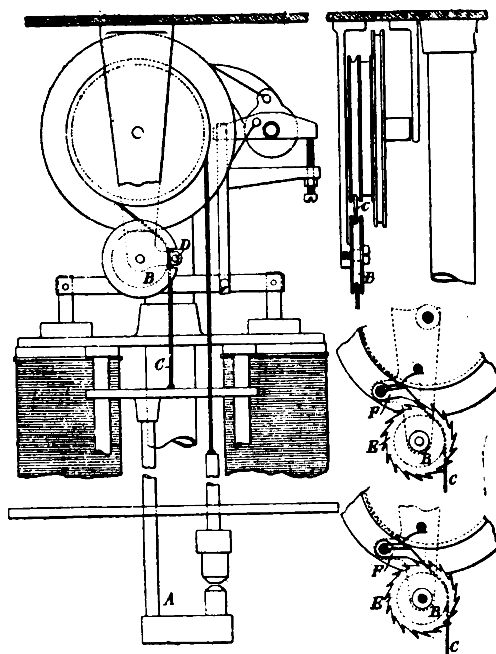


Fig. 9 à 12. — Lampe Brockie (1896).

par un rochet E F, s'opposant à la rotation de C dans le sens du rapprochement des charbons.

Dans la lampe de Davy (fig. 13) quand le levier *p* des solénoïdes s'élève, il soulève autour de n_8 le levier *n* qui, repoussant en n_6 le levier n_4, pivoté en n_7 et appuyé sur *n* en o_4, écarte les mâchoires O du frein, et entraîne la poulie de réglage de manière à écarter les

charbons rapprochés par leur poids. Quand p descend, le taquet n_2 butte sur n_9, et le frein se

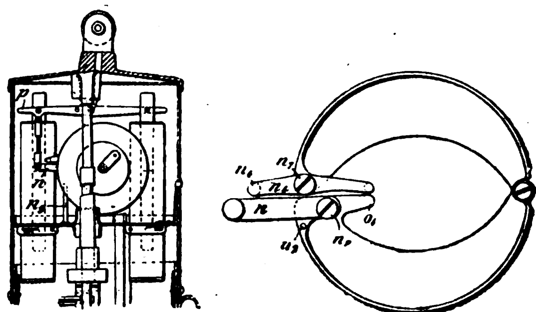


Fig. 13. — Lampe Davy (1896).

desserre. On obtient ainsi un réglage différentiel très sensible.

L'électro-aimant en série C (fig. 14 à 21) de la

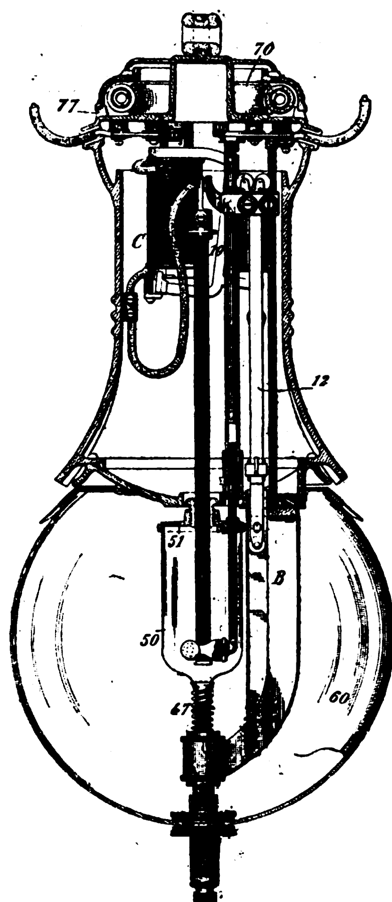


Fig. 14. — Lampe Adams (1897).

lampe à vase clos d'Adams a son armature 19 pivotée aussi librement que possible sur un couteau 20, à gardes latérales 25 (fig. 7), sa descente est limitée par la butée 28 de la tige du dash-pot 29, qu'elle attaque en 31, et qui est, par 34, reliée à la prise 15 de la tige 12, guidée sur galets et solidaire du porte-charbon supérieur.

Le porte-charbon inférieur fixe 35 (fig. 15),

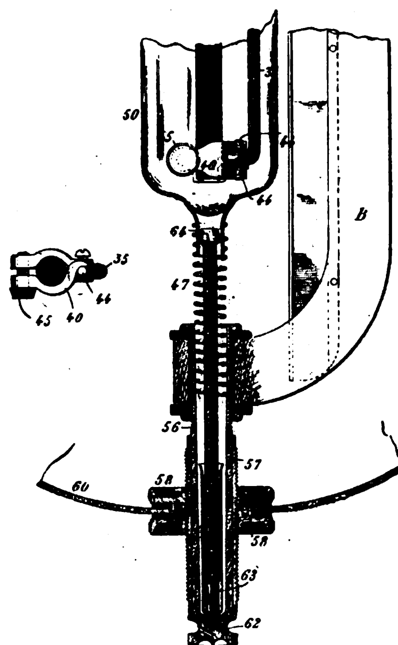


Fig. 15 et 16. — Lampe Adams. Détail du porte-globe.

saisit son charbon par la pince 40, articulée sur 44 et serrée par 45; il est fixé au couvercle 51 du petit globe d'arc 50, par une vis 52, qui en permet l'ajustage en hauteur de manière à régler la pression avec laquelle le ressort 47 appuie ce globe sur 51, et en direction, de manière à amener le charbon inférieur dans l'axe du charbon supérieur. Le couvercle 51 est très léger, de manière à s'échauffer, à l'amorçage de l'arc, assez vite pour ne pas exposer le globe 50 à se briser par suite de dilatations inégales.

Le grand globe 60 est fixé à l'attache B par les rondelles 58, filetées sur un fourreau 57, relié par le bouton 62 au tube 56, fileté dans B, et ce bouton porte une tige 64, autour de laquelle s'enroule le ressort 47, de

manière à constituer au petit globe un support élastique.

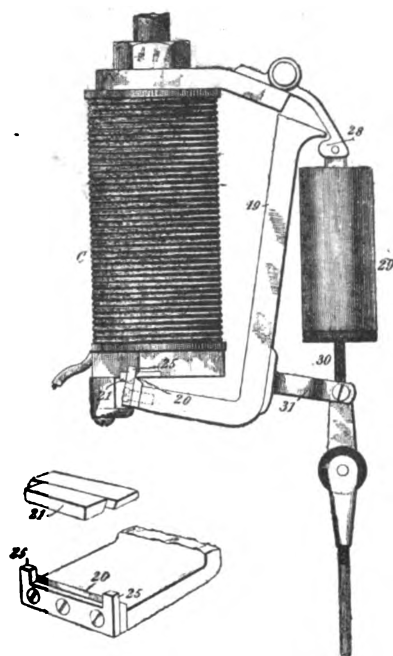


Fig. 17 et 18. — Lampe Adams. Détail du frein.

Le courant arrive dans la lampe par un rhéostat 71 (fig. 21) à douilles isolantes 72, disposées

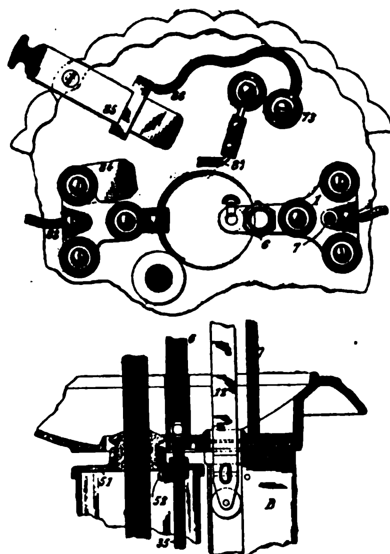


Fig. 19 et 20. — Lampe Adams. Détail des bornes et du globe.

autour de l'anneau 70, et parfaitement ventilé par l'air pénétrant entre les tasseaux 77 qui supportent sa cloche 76; le câble de sortie 74 s'attache en un point quelconque du rhéostat par une borne 74_c. La figure 19 indique comment le courant vient à la lampe par 83, le coupe-circuit 84-85, 86-73, le rhéostat 87 *c*, l'arc, pour en sortir par C 3, 8 et 7.

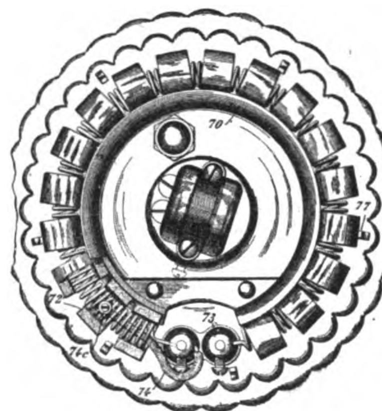


Fig. 21. — Lampe Adams. Détail du rhéostat.

La disposition de l'électro-aimant C et de son armature assurent la formation d'un arc allongé, nécessaire avec les lampes en vase clos.

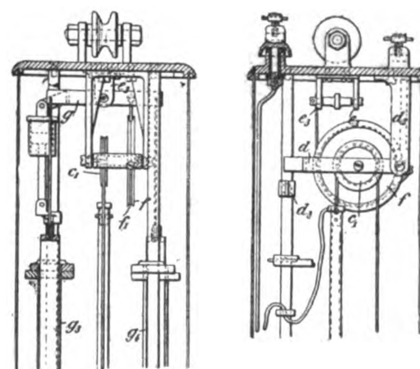


Fig. 22 et 23. — Lampe Anderseen (1896).

Dans la lampe d'Anderseen représentée par les figures 22 et 23 la poulie *c* de suspension des charbons est solidaire de la poulie *f*, à frein f_1, attaché d'une part au support fixe d_2 et, de l'autre, au levier *g*, pivoté en c_2 et actionné par les électros en série et dérivés g_3 et g_4; en outre, l'axe commun des poulies *c* et *f* est porté par un levier *d*, ordinairement appuyé sur le taquet d_3. A l'arrivée

du courant, g_3 sépare les charbons, en serrant f, puis en enlevant c et d, l'axe s'allonge, d revient s'appuyer sur d_2, et f, sous l'action de g_4, laisse les charbons se rapprocher plus ou moins, de manière à maintenir l'arc à sa longueur normale.

La disposition du groupement de lampes en série, de M. Hegner, comporte, pour

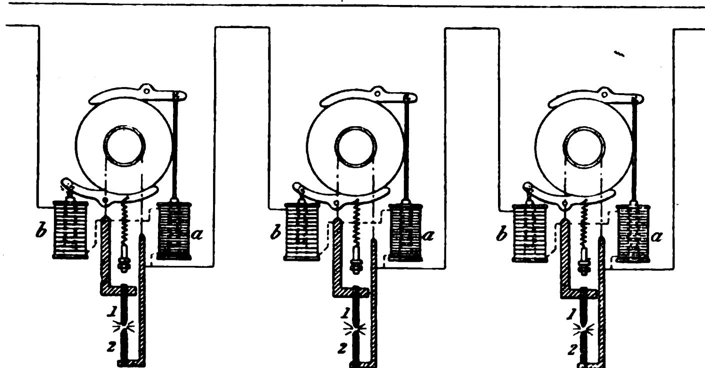
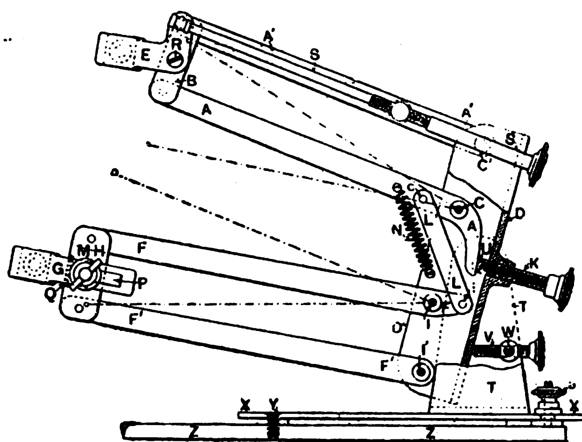


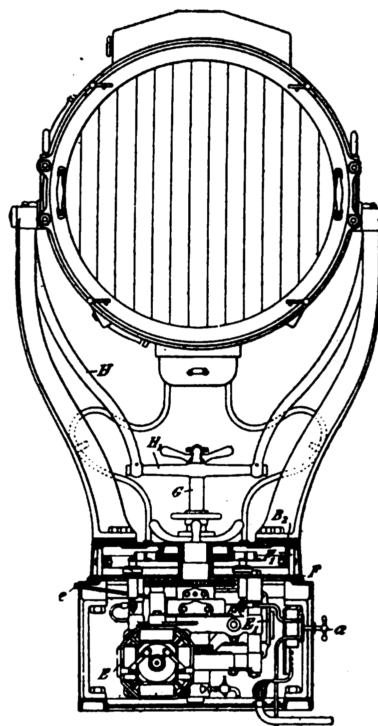
Fig. 24. — Lampe Hegner. Montage en série.

chaque lampe, un solénoïde a (fig. 24) en différentiel qui ne permet la marche des charbons que si la différence des potentiels aux bornes de la lampe dépasse une certaine


Fig. 25. — Lampe à projections Branson.

valeur E, puis un second solénoïde C, à gros fil et en série, ne la permettant qu'au-dessous d'une certaine intensité I. Il en résulte que les lampes ne peuvent jamais fonctionner au-dessous de E ni au-dessus de I, et comme le fonctionnement de a dépend de l'état particulier de chacune des lampes, et celui de b de l'état du circuit général, l'ensemble des lampes fonctionne uniformément sans la nécessité d'un troisième circuit.

Dans la lampe pour projections de Branson (fig. 25) les porte-charbons E et G sont


Fig. 26. — Projecteur Mac Haffie et Faure (1897).

aux extrémités des parallélogrammes (ABA') (FMF') conjugués par L, montés sur le châssis D, réglable par WV, et manœuvrés

de A par la vis K U. Les longueurs C*c* et I*i* et celles des leviers A et F sont telles que les porte-charbons G et E se rapprochent proportionnellement à l'usure de leurs charbons respectifs et que le foyer de l'arc reste immobile, tout en conservant aux charbons l'inclinaison l'un par rapport à l'autre reconnue la plus favorable. Enfin, pour rendre minima les perturbations dues aux arcs décrits par les extrémités des leviers A A' et F F', leur liaison par L est telle qu'ils atteignent simultanément leurs positions moyennes, où

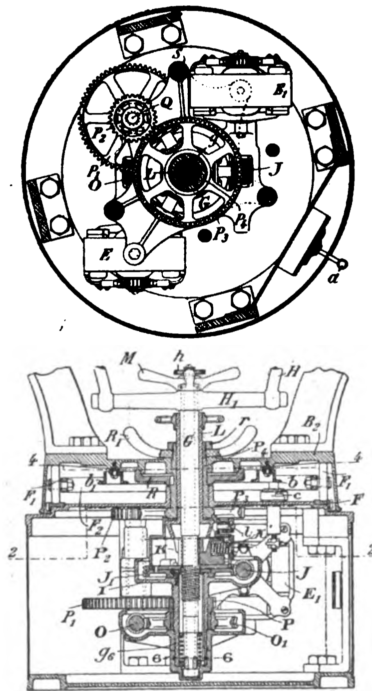


Fig. 27 et 28. — Projecteur Mac Haffie et Faure (1897).

ils sont respectivement perpendiculaires à CC et II. L'inclinaison de E est réglée sur B par la vis S; la coulisse P, à serrage M, permet d'avancer ou de reculer G, et la vis O de l'incliner latéralement, et tout l'ensemble de la lampe est porté sur le socle Z par une plaquette XX, facile à orienter par la coulisse X autour de l'axe Y ([1]).

Le *projecteur* Mac Haffie et Faure, ingénieurs de la General Electric Company, est remarquable par la disposition générale de son mécanisme accroché au haut du socle et par quelques détails de construction.

Les mécanismes de pointages horizontal et vertical sont commandés par les dynamos E en E_1 ou à la main, indépendamment ou simultanément.

Le pointage vertical est commandé mécaniquement par les bielles H H de la traversé H_1, montée sur la douille G de l'axe vertical *g*, dont le filetage est normalement en prise avec les écrous *k* (fig. 28) appuyés radialement sur lui par les ressorts *k'*. Dans la position indiquée en figure 26 H' est au bas de sa course, et le projecteur pointé le plus haut possible; le filetage de G est sorti des écrous *k*, de sorte que la dynamo E_1 peut continuer à faire tourner ces écrous par J J_1 sans aucun effet sur G. Pour descendre le projecteur, on renverse la marche de E_1, le filetage de G, poussé sur l'écrou K par le ressort g_1, se rengage dans cet écrou, qui remonte G

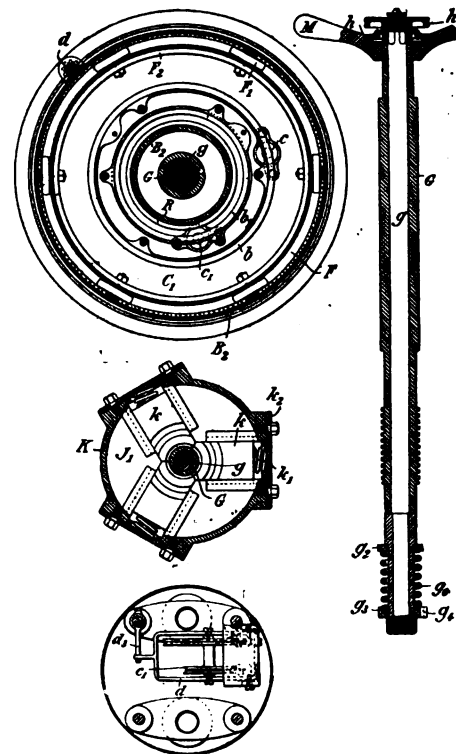


Fig. 29 et 30. — Projecteur Haffie et Faure.

([1]) *The Electrician*, 9 avril 1897. p. 795.

jusqu'à une limite imposée par la sortie du filetage de G de l'autre côté de l'écrou K. Entre ces deux limites, il suffit de faire tourner E_1 dans un sens ou dans l'autre pour pointer verticalement le projecteur, le ressort g_6 rappelant sans cesse le filetage de G sur K. Le pointage vertical à la main se fait lentement ou rapidement. Pour le pointage lent on désembraye en *h h* (fig. 29) la douille G de son arbre de sorte qu'il suffit de tourner C par M pour le faire monter ou descendre dans son écrou K, alors fixe. Pour le pointage rapide, il suffit d'abaisser par sa manette, et malgré son rappel élastique *l*, le cône L qui,

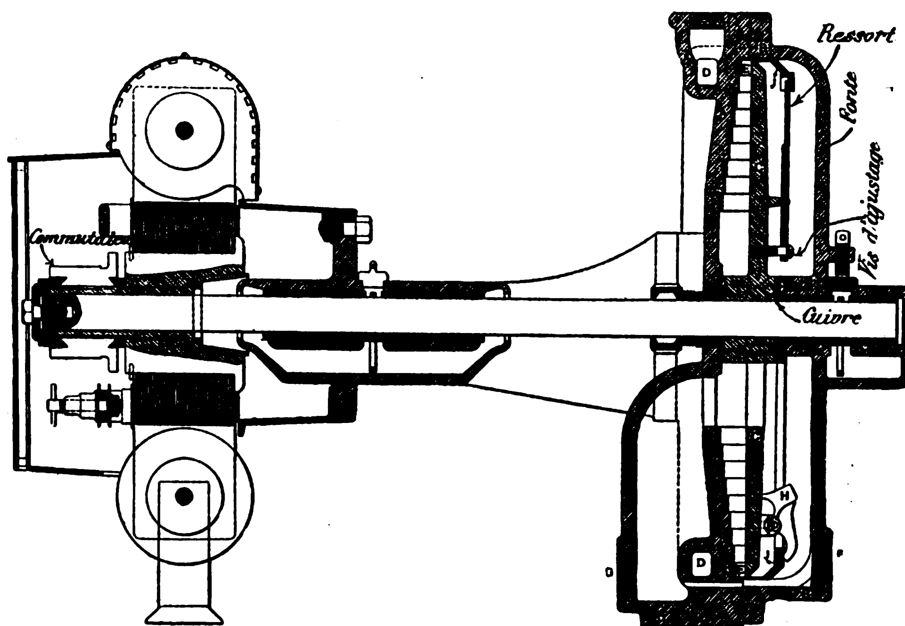


Fig. 31. — Turbo-moteur de la lampe Pyle.

écartant les peignes de l'écrou K, permet d'abaisser ou de relever rapidement le projecteur par ses poignées.

Le pointage horizontal est commandé, de la dynamo E, par le train O P P_1 P_2 P_3 P_4, qu'il suffit d'embrayer par R′R avec le châssis B pour l'entraîner sur ses galets de roulement F. Le pointage horizontal à la main, se fait après avoir débrayé R, soit rapidement par les poignées du projecteur, soit lentement, par le pignon *d* (fig. 30) en prise avec la couronne F (fig. 28).

Le courant arrive à la lampe par les rails *b* et b_1, à contacts *c* et c_1.

La suspension des mécanismes moteurs à la partie supérieure du socle les rend presque indépendants des déformations de ce socle, dérangement des fonds, etc., et permet de les faire plus légers et facilement accessibles.

L'emploi des lampes à arc dans les *lanternes des locomotives* commence à se répandre aux États-Unis. Comme exemple, je citerai le dispositif de Pyle, remarquable par l'ingénieux emploi d'une petite turbine à vapeur, montée près de la cheminée de la locomotive et actionnant directement la dynamo. La vapeur admise par D (fig. 31) sur les aubes E des plateaux fixe A et tournant C sort par F ou par G. Les trois premières rangées d'aubes, à partir du cercle, sont droites et à 45°, les deux aubes sont courbes. Le jeu entre leurs bords n'est que de $\frac{1}{120}$ de pouce; la vapeur, amenée par un tuyau de 20 mm, sort par un tube de 30 mm. La dynamo est directement calée sur l'arbre

de la turbine, de 27 mm sur 640 mm de long, porté par deux coussinets de bronze phosphoreux de 90×250 mm, avec graissage par anneaux. L'ensemble, turbine et dynamo, tient sur un rectangle de 660×460 mm. La dynamo, facilement accessible, est du type Gramme avec 40 sections au commutateur, un enroulement de 240 tours à l'armature, balais en graphite; elle donne, à 1 900 tours, 25 ampères sous 30 volts, alimentant une lampe de 4 000 bougies. Poids des pièces tournantes, turbine et dynamo, 19 kg., total 115 kg. Durée des charbons, 8 heures. Ces appareils fonctionnent avec succès depuis avril 1896 sur le Cleveland-Cincinnati-Chicago R.R. (1).

Le réglage s'opère d'une façon très simple par quatre ressorts J, attachés à C, sur lesquels est monté le papillon circulaire de prise de vapeur, plus ou moins rapproché de A par les masses centrifuges H, de manière à élargir ou à étrangler l'admission de vapeur en E.

Gustave RICHARD.

(1) *Railroad Gazette*, 12 mars 1897, p. 183.

SUR LE CHANGEMENT DES UNITÉS FONDAMENTALES
DANS LES SYSTÈMES ABSOLUS DE MESURE

Dans l'article que vient de publier sous ce titre (1) M. le Dr Riccardo Malagoli, de Modène, s'est glissée une erreur qui ne manque pas d'une certaine gravité.

M. le Dr Malagoli examine un système absolu dans lequel les unités fondamentales du système C. G. S. seraient remplacées par la quantité d'électricité, la quantité de magnétisme et la quantité d'énergie et conclut en exprimant l'avis que ce nouveau système serait à conseiller si la réalisation de ces nouvelles unités était aussi simple que celle des anciennes.

La substitution de la quantité d'énergie, qui joue dans toutes les sciences physiques un rôle si prépondérant, à l'une des trois unités fondamentales actuelles, par exemple à celle de masse, qui est pratiquement irréalisable et dont l'existence même peut être mise en doute, constituerait un réel progrès, s'il n'y avait pas de sérieux inconvénients à changer fréquemment les unités fondamentales.

Mais une objection bien autrement grave s'élève contre l'adoption des deux autres unités dont les formules de dimension sont, d'après l'article précité

$$Q_e = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}},$$
$$Q_m = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}.$$

Ces formules sont inexactes, et par suite les conclusions de l'auteur sont entachées d'une irrémédiable erreur.

La quantité d'électricité que nous désignerons par Q et la quantité de magnétisme, que nous désignerons par P sont en effet toutes deux définies par la loi de Coulomb : la force qui s'exerce entre deux masses électriques ou magnétiques est proportionnelle au produit des masses et en raison inverse du carré de la distance.

Cet énoncé peut s'écrire

$$F = MLT^{-2} = KQ^2L^{-2},$$
$$F = MLT^{-2} = K'P^2L^{-2}.$$

D'où l'on déduit immédiatement

$$Q = K^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1},$$
$$P = K'^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}.$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 535, 12 juin 1897.

Si, laissant toutes choses égales d'ailleurs, on change seulement le milieu dans lequel s'exercent les actions, on constate que la force varie suivant le milieu. Il en résulte que ni K, ni K′ ne sont de simples coefficients de dimensions nulles, et qu'on ne peut poser arbitrairement égal à l'unité ni l'un ni l'autre de ces deux paramètres.

Or si on rapproche ces formules de celles citées plus haut, on voit que l'on doit avoir

$$Q_m = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} = P = K'^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1},$$

et par conséquent que M. le Dr Malagoli suppose

$$K' = 1,$$

ce qui est faux.

La seule loi dans toute l'électricité qui donne une relation entre K et K′ est celle de Laplace qui peut s'écrire en dimensions

$$F = MLT^{-2} = PQT^{-1} L^{-1},$$

ou, en remplaçant PQ par sa valeur,

$$MLT^{-2} = (KK')^{-\frac{1}{2}} L^2MT^{-3},$$

et par conséquent

$$KK' = L^2T^{-2}.$$

Ce résultat est bien connu.

Or, si on rapproche la valeur de Q de celle de Q_e, on trouve

$$K^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}},$$

d'où on déduit

$$K = L^2T^{-2}.$$

Cette valeur de K, qui entraîne forcément pour K′ la valeur 1, est par suite également inexacte et il en résulte que deux des trois unités fondamentales proposées pour le nouveau système sont données avec des formules de dimensions erronées.

Ajoutons que, si l'on prend P, Q et W comme unités fondamentales, les différentes grandeurs de la physique s'exprimeront non pas en fonction de P, Q et W seulement, mais bien en fonction de P, Q, W et K, d'où il résultera une grande complication.

Rien dans l'état actuel de la science ne permet d'exprimer certainement K en fonction de L, M, T, ni même d'affirmer que K peut s'exprimer en fonction de ces unités. Il règne sur ce point la même incertitude que sur les dimensions de la température en chaleur.

Toutefois l'intérêt de cette expression est si grand, en raison de la simplification qui en résulterait et de la lumière qui serait jetée ainsi sur la véritable nature des grandeurs électriques et magnétiques, que divers chercheurs ont essayé de la déterminer. Le travail le plus intéressant qui soit parvenu à notre connaissance sur ce sujet est celui de M. Joubin (1) qui, partant d'un postulatum fort acceptable, trouve la valeur

$$K = L^{-1} MT^{-2}.$$

Il en résulte

$$P = MT^{-1},$$
$$Q = L^2,$$
$$W = L^2MT^{-2}.$$

On déduirait de là

$$L = Q^{\frac{1}{2}},$$
$$M = P^2QW^{-1},$$
$$T = PQW^{-1},$$

et sans aller plus loin on remarque que toutes les formules où la longueur entre actuellement avec un exposant impair deviendraient fractionnaires en Q. Le nouveau système serait donc plus compliqué que le système actuel.

La question pourrait être posée de la manière suivante : les différentes grandeurs mécaniques s'expriment toutes de puissances entières en fonction des quantités L, M, T. Il n'en est pas de même de toutes les grandeurs

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 84, n° 41, du 10 octobre 1896. On remarquera que nos coefficients K et K′ sont les inverses des pouvoirs inducteurs spécifiques employés par M. Joubin.

physiques. En particulier en ce qui concerne les phénomènes électriques et magnétiques, les différentes grandeurs en jeu peuvent s'exprimer en fonction de trois quantités P, Q, W.

L'énergie W s'exprime en fonction de L, M, T, parce que l'énergie, sous ses formes variées, est toujours de l'énergie. C'est la base même de la physique mathématique.

En ce qui concerne les quantités P et Q, on sait seulement que l'on a

$$PQ = WT = ML^2T^{-1}.$$

Il manque donc une relation pour pouvoir ramener le système (P, Q, W), au système (L, M, T), et même si cette relation existait, il serait indispensable, pour substituer le système (P, Q, W), au système (L, M, T), que dans ce nouveau système les expressions de toutes les grandeurs fussent notablement plus simples que dans le système actuel.

Il est bien évident d'ailleurs que le système (P, Q, W) est favorable à l'expression des grandeurs électriques et magnétiques, puisque l'on y prend pour unités les grandeurs définies par les lois fondamentales de ces phénomènes.

C'est ainsi que l'on aurait

Potentiel magnétique $= WP^{-1}$.
Potentiel électrique $= WQ^{-1}$.
Intensité de courant $= WP^{-1}$.
Résistance électrique $= PQ^{-1}$.
Capacité électrostatique $= W^{-1} Q^2$.
Self-inductance $= P^2W^{-1}$.

Le but de la présente note n'est ni d'exposer à nouveau la théorie des unités, ce qui a été fait à diverses reprises par des maîtres éminents, ni de faire une critique personnelle du travail du Dr Malagoli.

L'erreur dans laquelle est tombée ce savant est en effet de celles que chacun est exposé à commettre. On a pris, pour simplifier très légèrement l'écriture, l'habitude de supprimer les coefficients K et K', ou, ce qui revient au même, les pouvoirs inducteurs spécifiques électrique et magnétique dans bien des équations où ils devraient figurer. Cette habitude s'est fortifiée du fait de l'emploi, très commode, indispensable dans la pratique et très généralisé du système électromagnétique de mesures où on donne arbitrairement à K' la valeur 1, de telle sorte que si l'on vient à prendre dans un recueil une formule dont on a besoin, on risque fort de trouver une formule en harmonie avec la suite des opérations effectuées mais inexacte au point de vue des dimensions et l'on est très exposé à prendre cette formule comme rigoureusement exacte si on ne remonte pas méticuleusement la série des calculs.

On ne saurait trop prémunir les électriciens, et, ajouterons-nous, se prémunir soi-même contre la tendance bien naturelle de prendre le système électromagnétique, qui est d'un emploi de tous les instants, pour un système absolu de mesures. On s'expose ainsi à de sérieux mécomptes dès qu'on veut sortir des applications purement expérimentales.

E. Brylinski.
Ingénieur des Télégraphes.

MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES ET ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS DU FER

CHAMP MAGNÉTIQUE. MÉTHODE D'INDUCTION

Lorsqu'une bobine de surface moyenne S, contenant N tours de fil, est placée dans un champ magnétique, uniforme, d'intensité $\mathcal{H}$, elle est traversée par un flux total :

$$NS\mathcal{H}.$$

Cette bobine étant reliée à un galvanomètre balistique, la résistance du circuit, qui renferme au besoin une résistance additionnelle R, a pour valeur :

$$g + R + r,$$

en appelant r la résistance de la bobine elle-même.

Dans ces conditions, si nous retournons la bobine de 180°, autour d'un axe parallèle au plan des spires, le flux total passe d'une valeur positive à une valeur négative et la variation engendre, par induction dans le circuit, une quantité d'électricité :

$$q = \frac{2\,\mathrm{NS}\mathcal{H}}{g + \mathrm{R} + r}\,10^{-2}.$$

Cette quantité est exprimée en microcoulombs quand les résistances sont en ohms, S en centimètres carrés et $\mathcal{H}$ en unités C.G.S. La mesure de q permet de connaître $\mathcal{H}$.

On peut aussi procéder en retirant la bobine du champ à mesurer pour l'amener dans un champ nul ou négligeable; dans ce cas, il faut supprimer le coefficient 2 de l'équation ci-dessus.

La quantité q se mesure au galvanomètre balistique, comme une décharge de condensateur, avec toutes les précautions nécessitées par l'amortissement. Si K est la constante balistique, déterminée comme pour les coefficients d'induction, l'élongation observée étant ε, on a :

$$\mathcal{H} = \frac{\mathrm{K}(g + \mathrm{R} + r)}{2\,\mathrm{NS}}\,10^{8}\,\varepsilon.$$

Ici encore, on peut se servir d'un galvanomètre quelconque, pourvu qu'il soit assez sensible et que sa durée d'oscillation soit longue par rapport à la durée du renversement de la bobine. Quelle que soit d'ailleurs la durée d'oscillation, on a intérêt à faire le renversement de la bobine, ou sa sortie du champ, aussi rapide que possible.

Avec des champs uniformes, de dimensions assez grandes, on obtient des résultats plus exacts par le retournement, qui double, toutes choses égales d'ailleurs, l'élongation obtenue; d'autre part, quand la bobine est bien orientée et quand l'angle de renversement est exactement de 180°, on a bien une variation égale à $2\,\mathcal{H}$. Au contraire, dans les entrefers étroits, comme ceux des dynamos par exemple, il est à peu près impossible de donner à la bobine d'exploration une surface, exactement mesurable, assez petite pour pouvoir la retourner; il est plus simple d'arracher brusquement la bobine du champ en l'éloignant suffisamment pour l'amener dans une région où le champ peut être considéré comme nul, vis-à-vis de celui qu'on mesure. On est certain que cette dernière condition est remplie quand, en éloignant la bobine de sa nouvelle position, on n'observe qu'une élongation négligeable.

La bobine d'exploration doit être faite, spécialement, pour le champ à mesurer et selon la sensibilité du galvanomètre employé.

Pour donner la plus grande précision à la détermination de S, il faut donner une grande surface à la bobine; mais, d'autre part, si l'on craint un défaut d'uniformité dans le champ, il est bon, pour connaître la valeur en chaque point, de réduire cette même surface; l'expérience fera connaître, dans chaque cas, la grandeur la plus convenable.

Pour les essais dans les entrefers étroits, un très bon moyen, assez simple, consiste à découper un rectangle de carton épais de 1 à 2 mm; on mesure exactement la surface de ce rectangle, puis on colle, sur chaque face, une feuille de carton plus mince, débordante de chaque côté, destinée à servir de joue à la bobine. Dans la gorge ainsi formée, on enroule du fil de cuivre, bien isolé, de diamètre approprié au nombre de tours nécessaire; un calcul préliminaire a fait connaître ce nombre d'après la valeur présumée de $\mathcal{H}$. Le nombre de tours doit, évidemment, être soigneusement noté. L'enroulement terminé, on mesure ses dimensions extérieures et on prend pour S, la moyenne entre la première surface et celle-ci.

Quand l'entrefer est assez large pour permettre d'incliner la bobine d'exploration, il est indispensable de la mettre exactement dans un plan perpendiculaire aux lignes de force; il faut aussi la mettre toujours à la même place. On s'assure que la première condition est bien remplie en faisant varier l'inclinaison; la bonne position est celle pour laquelle l'élongation obtenue, par renverse-

ment ou arrachement, est maximum. La seseconde condition se réalise facilement au moyen de cales.

Cette méthode peut s'appliquer à toutes les valeurs de $\mathcal{H}$, il suffit de donner au produit NS une grandeur convenable. Quand on mesure des champs très faibles, il vaut mieux procéder par retournement.

CHAMP MAGNÉTIQUE. MÉTHODES DIVERSES

Un conducteur traversé par un courant et placé dans un champ magnétique, est sollicité par une force perpendiculaire au plan dans lequel sont situés le conducteur et la direction du champ.

Plusieurs appareils ont été basés sur cette propriété, entre autres, l'inductomètre de M. Miot, dérivé du galvanomètre à mercure de M. Lippmann. Dans cet instrument, un courant connu traverse un tube rempli de mercure, placé dans le champ magnétique à mesurer; la force exercée se traduit par une pression qui est indiquée par un manomètre.

Le courant, amené par deux lames de cuivre (fig. 1), traverse le mercure d'une chambre très plate; celle-ci est placée dans une des branches d'un manomètre à mercure. Le courant traverse le champ perpendiculairement aux lignes de force; dans ces conditions, l'élévation du mercure dans la branche centrale est proportionnelle à

$$h = A\mathcal{H}I,$$

en appelant A une constante déterminée, expérimentalement, une fois pour toutes; un ampèremètre donne I et on lit h sur le manomètre.

Pour utiliser l'appareil dans une position quelconque, de façon à ce que la direction des lignes de force soit toujours perpendiculaire au plan dans lequel passe le courant, la partie inférieure est articulée au moyen de tubes de caoutchouc; seuls les tubes du manomètre doivent rester verticaux.

Dans d'autres appareils, on mesure, au moyen de poids ou par la torsion d'un ressort, l'action du champ sur une bobine traversée par un courant connu.

L'augmentation de la résistance électrique du bismuth, placé dans un champ magnétique, a été employée par M. Leduc pour la mesure de l'intensité de celui-ci. L'appareil perfectionné de MM. Lenard et Howard, consiste en un fil de bismuth, roulé en spirale double et logé dans un support protecteur en verre ou en mica (fig. 2).

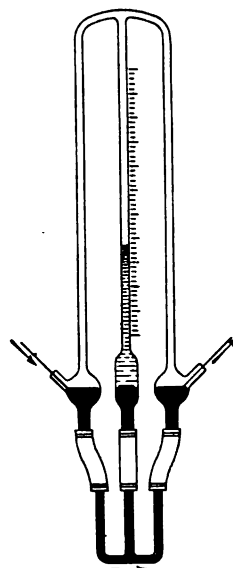


Fig. 1.
Inductomètre Miot.

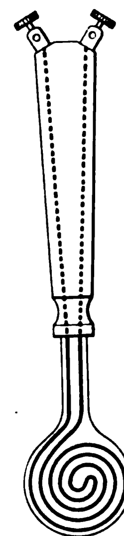


Fig. 2.
Spirale de bismuth.

Cette spirale, mesurée dans le champ magnétique terrestre, avec le pont de Wheatstone ou par tout autre moyen, a une résistance R_0. Placée ensuite dans le champ intense à mesurer, sa résistance devient R. Si les deux mesures sont faites dans un temps assez court pour que la température n'ait pas changé, pratiquement, on trouve que l'accroissement relatif,

$$\frac{R - R_0}{R_0},$$

est une fonction de $\mathcal{H}$, *constante pour la même spirale*. Il suffit de déterminer, expérimentalement, cette fonction pour la spirale employée, pour faire ensuite la mesure d'un champ quelconque.

La fonction qui relie $\frac{R - R_0}{R}$ à $\mathcal{H}$ est hyperbolique, la variation relative est moindre pour les champs faibles que pour les champs intenses. La pureté du bismuth influe beaucoup sur la grandeur de cette variation ; ainsi, pour $\mathcal{H} = 10000$, on trouve des variations de résistance entre 25 et 45 p. 100. De même, le coefficient de variation avec la température oscille entre 0,21 et 0,52 p. 100.

Comme dans les méthodes précédentes, le plan de la spirale doit être perpendiculaire aux lignes de force.

INDUCTION MAGNÉTIQUE ET HYSTÉRÉSIS MÉTHODES D'INDUCTION

L'étude des propriétés magnétiques du fer comporte la mesure de l'induction $\mathcal{B}$, en fonction du champ magnétisant $\mathcal{H}$; de la valeur moyenne de $\mathcal{B}$, pour une grandeur de $\mathcal{H}$ déterminée, on peut tirer la perméabilité μ. Lorsqu'on fait varier $\mathcal{H}$ graduellement, de $+\mathcal{H}$ à $-\mathcal{H}$ et ensuite à $+\mathcal{H}$, c'est-à-dire quand on fait parcourir à l'échantillon un cycle magnétique complet, on remarque que $\mathcal{B}$ ne repasse pas par les mêmes valeurs quand $\mathcal{H}$ croît ou décroît ; la surface enveloppée par la courbe de $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$, permet de connaître la perte d'énergie due à l'hystérésis.

Lorsqu'une bobine de n tours est enroulée sur une barre de fer dont l'induction est $\mathcal{B}$, le passage à une nouvelle valeur $\mathcal{B}'$ produit une variation du flux total :

$$nS(\mathcal{B} - \mathcal{B}'),$$

en appelant S la section de la barre. Si la bobine est reliée à un galvanomètre balistique, la résistance totale du circuit étant R_t, la quantité d'électricité, induite dans le circuit par la variation du flux, sera :

$$q = \frac{nS(\mathcal{B} - \mathcal{B}')}{R_t} = K\varepsilon. \qquad (1)$$

L'élongation ε du galvanomètre est toujours proportionnelle à $\mathcal{B} - \mathcal{B}'$, pourvu que cette variation s'effectue pendant un temps très court par rapport à l'oscillation du galvanomètre. Quand l'induction $\mathcal{B}$ n'est pas uniforme dans toute l'étendue de la section S, $\mathcal{B}$ et $\mathcal{B}'$ représentent les valeurs moyennes.

Il est nécessaire que les spires de la bobine de n tours soient enroulées contre le fer, de manière que la surface moyenne de la bobine diffère peu de S.

La détermination du champ magnétisant $\mathcal{H}$ est plus délicate, on ne l'obtient exactement que dans quelques cas déterminés.

Une barre de fer, de longueur indéfinie, recouverte, sur toute son étendue, d'un enroulement régulier, est soumise à une force magnétisante uniforme ; la bobine induite, placée en un point quelconque, reçoit toujours le même flux ; en appelant N, le nombre de tours, par *unité de longueur*, du circuit magnétisant, le champ $\mathcal{H}$ a pour valeur

$$\mathcal{H} = 4\pi N_1 I.$$

Pratiquement, une barre dont la longueur est environ 500 fois le diamètre, étant placée dans un solénoïde de même longueur et d'un diamètre juste suffisant pour la laisser passer, peut être assimilée à une barre infinie ; dans la section médiane, l'induction et l'hystérésis sont identiquement ce qu'ils seraient dans ce cas, c'est en ce point qu'il faut placer la bobine induite. Le champ magnétisant a encore la même valeur que ci-dessus.

Un autre moyen, souvent employé dans les expériences importantes, consiste à former, avec le fer à essayer, un tore, de section circulaire ou rectangulaire, sur lequel on enroule la bobine magnétisante. Pourvu que le diamètre du tore soit grand, par rapport à celui de la barre, l'induction est assez uniforme dans toute la section et on peut considérer le système comme rigoureusement équivalent à une barre infinie.

Comme l'emploi de barres extrêmement longues, ou de tores, n'est pas toujours facile pour les mesures courantes, on prend souvent des barres droites, relativement courtes, dont on réunit les extrémités au moyen de

***

masses de fer doux de grande section ; ces masses agissent comme un court-circuit magnétique, de telle sorte qu'on peut considérer la partie libre de l'échantillon comme faisant partie d'une barre de longueur infinie.

Dans l'appareil classique d'Hopkinson (fig. 3), l'échantillon à essayer, amené à la

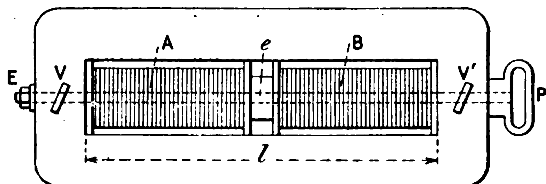


Fig. 3. — Appareil d'Hopkinson.

forme d'une barre cylindrique d'un centimètre carré de section et de 50 cm de longueur est introduit dans un bloc de fer rectangulaire ayant, au centre, un évidement également rectangulaire. Les deux trous par lesquels la barre pénètre dans le bloc sont exactement alésés au même diamètre que celle-ci, de facon à n'introduire qu'une reluctance négligeable. Les deux bobines magnétisantes, A et B, recouvrent la barre dans l'évidement ; entre elles un espace réservé permet d'introduire la petite bobine induite *e*.

Dans la méthode d'Hopkinson proprement dite, la barre est coupée en deux parties, la section passant entre A et *e*. La partie du côté A est fortement maintenue en place par le serrage d'une vis V et par l'écrou E qui taraude sur la barre elle-même. La partie opposée, également taraudée à son bout extérieur, est vissée dans une poignée P, qui permet de l'arracher brusquement du bloc. La bobine d'exploration *e*, qui n'est maintenue en place que par la barre à essayer, est sollicitée par un ressort, de telle sorte que, au moment où l'on arrache la poignée P et la barre correspondante, elle est projetée en dehors de l'appareil ; le flux passe donc de $n\,S\,\mathfrak{B}$ à o, il est facile de calculer $\mathfrak{B}$.

Cette disposition a l'inconvénient d'introduire dans le calcul de $\mathcal{H}$ une grosse indécision ; en effet, malgré tout le soin apporté au rodage des faces en regard des deux barres, le contact peut n'être pas parfait ; il en résulte une erreur dans l'évaluation de la longueur du circuit magnétique ; l'induction $\mathfrak{B}$ est bien toujours exactement mesurée, mais sans qu'on sache à quelle valeur exacte de $\mathcal{H}$ elle correspond ; l'erreur commise par ce fait dépasse facilement 10 p. 100. Une solution préférable consiste à employer une barre d'un seul morceau. En faisant varier l'intensité I dans les bobines magnétisantes, on obtient une variation correspondante de $\mathfrak{B}$; on peut renverser le sens du courant de $+$ I à $-$ I, ce qui donne une élongation proportionnelle à $2\,\mathfrak{B}$, ou procéder par variations graduées, suivant un cycle déterminé, comme nous le verrons plus loin.

Bien que l'enroulement inducteur ne soit pas toujours uniforme, on calcule $\mathcal{H}$ comme s'il l'était. Soit N le nombre de tours total des bobines magnétisantes, *l* la longueur de la barre à essayer, mesurée entre les faces internes du bloc, *e* un terme de correction constant destiné à compenser la faible reluctance du bloc et des surfaces de contact entre la barre et le bloc :

$$\mathcal{H} = \frac{4\,\pi N I}{l + e}. \qquad (2)$$

On prend généralement pour *e* une longueur égale à la moitié de la circonférence de la barre, ce terme de correction doit toujours être très petit par rapport à *l*, ce qui oblige à donner à l'appareil des dimensions assez grandes.

Quand on cherche simplement à connaître la valeur moyenne de $\mathfrak{B}$, en fonction de $\mathcal{H}$, on emploie les moyens précédents : arrachement ou inversion du courant ; on tire de (1), suivant le cas :

$$\mathfrak{B} = \frac{KR_t}{nS}\,\varepsilon,$$

$$\mathfrak{B} = \frac{KR_t}{2\,nS}\,\varepsilon.$$

Un ampèremètre intercalé dans le circuit d'excitation permet de mesurer I et, par suite, de calculer $\mathcal{H}$.

L'hystérésis empêche le fer de prendre immédiatement l'état qui correspond à la force magnétique à laquelle il est soumis ; pour éviter que les états antérieurs troublent la mesure, il est nécessaire, pour chaque intensité I, de renverser plusieurs fois le sens du courant avant de faire la mesure de ε.

Pour déterminer $\mathcal{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, dans un cycle complet de $+\mathcal{H}$ à $-\mathcal{H}$, ainsi que pour mesurer l'hystérésis dans le même cycle, la méthode indiquée par Ewing est une des plus exactes. Le courant, réglé à l'intensité convenable, est envoyé dans les bobines magnétisantes et inversé plusieurs fois pour faire parcourir le cycle complet à l'échantillon ; cela fait, la barre à essayer se trouve soumise à une induction $\mathcal{B}_0$ dans un champ $\mathcal{H}_0$ (fig. 4) ; l'introduction, brusque, de

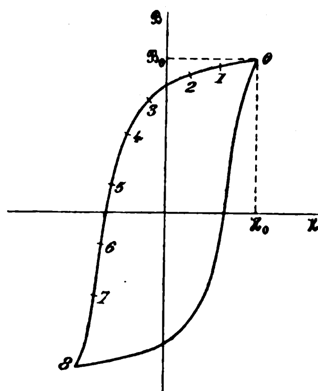


Fig. 4. — Cycle magnétique.

résistances dans le circuit, amène le champ à une valeur $\mathcal{H}_1$, en même temps l'induction passe de $\mathcal{B}_0$ à $\mathcal{B}_1$, une quantité q_1, envoyée par cette variation dans le galvanomètre balistique, donne la valeur de $\mathcal{B}_0$-$\mathcal{B}_1$. On ramène de nouveau le champ à $\mathcal{H}_0$ et on fait parcourir encore plusieurs cycles complets à l'échantillon, pour le ramener dans un état magnétique identique à celui de la première expérience. Par l'introduction de résistances convenables, on obtient successivement les points 1, 2 ; en ajoutant à cette cause le renversement du courant, on obtient : 3, 4, 5, 6, et 7 ; le point 8 est donné par l'inversion pure et simple du courant. Les résultats obtenus, $\mathcal{B}_0 - \mathcal{B}_1$, $\mathcal{B}_0 - \mathcal{B}_2$, etc., sont en fonction d'un zéro arbitraire $\mathcal{B}_0$; mais, par raison de symétrie, on trace l'axe des $\mathcal{H}$ au milieu des valeurs extrêmes de $\mathcal{B}$. Par raison de symétrie également, la branche ascendante de la courbe se trace en inversant les résultats de l'expérience.

Avec l'appareil d'Hopkinson, $\mathcal{H}$ est donné par (2) et les élongations du galvanomètre donnent :

$$\mathcal{B}_0 - \mathcal{B}_n = \frac{KR_t}{nS} \varepsilon_n.$$

On sait que l'énergie dépensée par l'hystérésis, pour chaque cycle parcouru, et par centimètre cube de fer, est :

$$W_h = \frac{1}{4\pi} \int \mathcal{H} d\mathcal{B}$$

Si l'on trace la courbe complète de $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$, en prenant

$$y = \frac{\mathcal{B}}{B} \quad \text{et} \quad x = \frac{\mathcal{H}}{A},$$

l'aire S_1 de la courbe fermée obtenue, donne :

$$W_h = \frac{AB}{4\pi \times 10^7} S_1;$$

$\mathcal{B}$ et $\mathcal{H}$ étant en unités C, G, S., W_h est exprimé en watts.

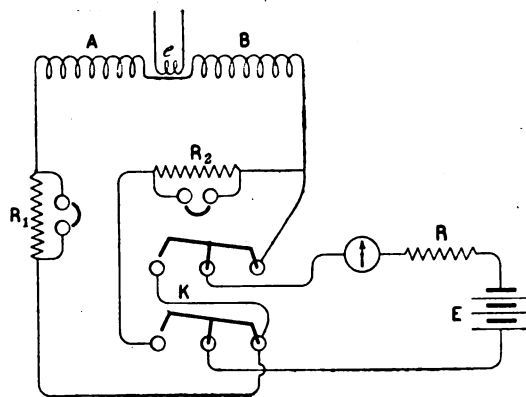


Fig. 5. — Schéma de la méthode d'Ewing.

La méthode d'Ewing exige un montage d'apparence compliquée (fig. 5). Le courant, fourni par une batterie E, traverse une résis-

tance R et un ampèremètre; on peut au besoin supprimer le rhéostat R en faisant varier le nombre d'éléments de la batterie. Deux rhéostats réglables R_1 et R_2, un commutateur à mercure K et enfin les bobines magnétisantes A et B, complètent le circuit. Des godets à mercure, reliés aux extrémités des rhéostats R_1 et R_2, permettent de mettre ces résistances en court-circuit au moyen de cavaliers en cuivre rouge.

Tout étant établi suivant le schéma cidessus, les résistances R_1 et R_2 en court-circuit, l'intensité du courant est réglée à la valeur cherchée au moyen de E ou de R. Plusieurs renversements alternatifs du cavalier K font parcourir au fer le cycle $+\mathfrak{B}$ à $-\mathfrak{B}$. Le cavalier étant renversé à droite, suivant la figure, on introduit dans le rhéostat R_1, une résistance convenable pour abaisser l'intensité; rompant brusquement le court-circuit, on observe une élongation ε_1 du galvanomètre et l'intensité devient I_1. Rétablissant alors le court-circuit sur R_1, on renverse de nouveau, plusieurs fois, le cavalier K, puis avec une nouvelle résistance en R_1 on recommence la même opération.

Pour les points correspondant à une intensité négative, on laisse toujours R_1 en court-circuit et on introduit les résistances en R_2; c'est alors le renversement du cavalier K qui fait passer l'intensité de $+ I_0$ à $- I_n$. Bien entendu, on remet ensuite R_2 en court-circuit, pour faire parcourir plusieurs fois le cycle complet, entre chaque mesure.

Les deux rhéostats R_1 et R_2 doivent seulement être réglables, ils n'ont pas besoin d'avoir des résistances connues; à la rigueur un seul rhéostat, placé successivement en R_1 ou R_2 peut suffire.

On peut, quelquefois, avoir besoin de connaître la perte d'énergie causée par l'hystérésis dans une machine quelconque dont on n'a pas pu étudier le fer au préalable; la mesure peut se faire directement lorsque la masse de fer est disposée de telle sorte que les variations magnétiques ne soient pas trop lentes. Nous avons vu que, dans la mesure des coefficients de self-induction, on observe des élongations proportionnelles à $L_s I$. Si nous traçons une courbe de $L_s I$ en fonction de I, les valeurs de $L_s I$ étant mesurées par variations graduelles, comme dans le cycle d'Ewing ci-dessus, les points obtenus pendant les variations de $+ I$ à $- I$ ne coïncideront pas avec ceux de $- I$ à $+ I$; la surface comprise entre ces deux courbes sera, à un coefficient près :

$$S = \int I d(L_s I),$$

Or, cette expression est exactement celle du travail dépensé par l'hystérésis pour un cycle complet, il suffit donc de connaître l'échelle de la courbe pour en déduire le coefficient et pour calculer W_h. L'intensité étant exprimée en ampères, le coefficient d'induction en henrys, la perte sera donnée en watts, pour la *masse totale* du fer soumis à l'induction.

La mesure du coefficient d'induction mutuelle, faite dans les mêmes conditions donnerait le même résultat.

Cette méthode, prenant le phénomène dans son ensemble, tient compte des inductions inégales auxquelles sont soumis les différents points de la masse de fer.

MÉTHODE DE LA FORCE PORTANTE

La force nécessaire pour séparer, dans la direction des lignes de force, deux parties d'un circuit magnétique, est proportionnelle au carré de l'induction $\mathfrak{B}$ et à la surface S. Lorsque deux barres de fer, de même section, dont les bouts ont été rodés l'un contre l'autre de façon à bien se joindre, sont amenées au contact et aimantées uniformément, la force f, nécessaire pour produire l'arrachement, a pour valeur en grammes :

$$f = 4{,}06\, S\mathfrak{B}^2 \times 10^{-5}.$$

Dans le perméamètre de S. Thompson, un gros bloc de fer évidé (fig. 6), analogue à celui de l'appareil d'Hopkinson, renferme une bobine magnétisante dans le centre de laquelle vient se placer la barre de fer à

essayer; celle-ci traverse un des côtés du bloc dans un trou dans lequel elle est ajustée à frottement doux; son extrémité

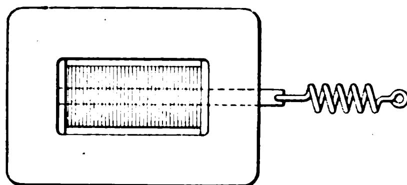


Fig. 6. — Perméamètre à arrachement.

repose sur la paroi interne du bloc; les deux surfaces de contact sont soigneusement dressées. Le courant qui traverse la bobine aimante le fer, en tirant graduellement sur la barre, on produit l'arrachement; un peson intercalé entre la barre et la force entraînante permet de connaître celle-ci à chaque instant. On doit faire croître la force appliquée très régulièrement, sans secousses, et il faut noter exactement l'indication du peson au moment de l'arrachement.

Pour obtenir les valeurs d'un cycle complet, il faut procéder exactement comme dans les méthodes d'induction en ramenant toujours le fer au même état magnétique, entre chaque opération.

La méthode de la force portante est assez employée parce qu'elle dispense de l'emploi du galvanomètre balistique, elle peut donner de bons résultats, mais elle exige de grandes précautions. Par suite du dressage imparfait des surfaces en contact, la distribution de $\mathfrak{B}$ n'est pas uniforme; or, la force en chaque point est proportionnelle à $\mathfrak{B}^2$, de telle sorte qu'en réalité on a :

$$f = 4{,}06 \times 10^{-5} \int \mathfrak{B}^2 dS;$$

pour un flux *total* déterminé, cette force est *minimum* quand la distribution est uniforme.

En pratique on obtient des différences assez grandes, sur f, suivant qu'on assure plus ou moins bien le contact entre les deux pièces, par une pression exercée en outre de l'attraction magnétique.

APPAREILS DIVERS

Il n'y a, jusqu'à présent, que les méthodes d'induction qui soient capables de donner des résultats concordants et susceptibles d'une interprétation exacte; néanmoins, pour les usages industriels, on a combiné divers appareils capables de donner, chacun dans son cas particulier, des résultats intéressants.

Dans un certain nombre de dispositions, l'échantillon à essayer fait partie d'un circuit magnétique, presque complètement fermé; un entrefer étroit, ménagé dans les pièces polaires, permet de connaître par un étalonnage préalable, la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$ en fonction du champ mesuré dans l'entrefer. Il est possible d'obtenir, avec cette disposition, la valeur moyenne à peu près exacte de $\mathfrak{B}$ et du champ magnétisant $\mathfrak{H}$; mais la présence des pièces polaires et de l'entrefer modifie complètement l'hystérésis, il faut renoncer à obtenir autre chose que des résultats relatifs, comparables entre eux mais nullement avec ceux donnés par d'autres appareils.

Dans l'appareil de Bruger, construit par Hartmann et Braun, le fer à essayer est mis sous forme d'une barre cylindrique et introduit dans un solénoïde de même longueur; une masse de fer, en forme de C, réunit les deux bouts de la barre, ne laissant, à une des extrémités, qu'un étroit entrefer, de longueur constante, dans lequel une spirale de bismuth permet de mesurer le champ. Au moyen d'une courbe de graduation fournie avec l'appareil, on déduit $\mathfrak{B}$ de la mesure de la spirale de bismuth.

Dans d'autres appareils on a placé, dans l'entrefer, un cadre mobile de galvanomètre; un courant constant envoyé dans le cadre le fait dévier d'une quantité proportionnelle au champ et pouvant servir à sa mesure.

Le traceur de courbes magnétiques d'Ewing repose sur le même principe. Le fer à essayer est introduit dans deux solénoïdes, A et B (fig. 7); deux pièces polaires P et une

culasse Q complètent un électro. Dans l'entrefer, entre P, P, est tendu un fil *ab* parcouru par un courant constant fourni par une pile E; sous l'influence de ce courant et du champ, le fil est soumis à une force dirigée suivant la flèche, force qui est proportionnelle à l'induction. Un second électro, construit une fois pour toutes, est excité par un courant constant, fourni également par E; un fil *cd*, parcouru par le même courant qui sert à exciter A B, est tendu dans l'entrefer de l'électro C, il est soumis, dans la direction de la flèche, à une force proportionnelle au courant d'excitation, c'est-à-dire au champ magnétisant. Les plans de déviation des deux fils sont perpendiculaires; si, au moyen de liaisons convenables, on les fait agir sur un miroir mobile, la position de celui-ci sera, à chaque instant, fonction de $\mathcal{H}$ et de $\mathcal{B}$; il suffira alors de faire parcourir au courant fourni par E′, un cycle complet, pour que le spot décrive sur l'écran le cycle d'aimantation correspondant.

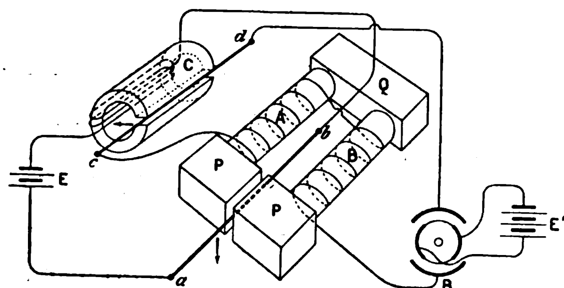


Fig. 7. — Schéma du traceur de courbes d'Ewing.

Pour obtenir ces variations périodiques de l'intensité, on fait usage d'un rhéostat à liquide R. Dans un récipient cylindrique sont plongées deux plaques de zinc; deux autres plaques sont portées sur un tambour isolant et peuvent tourner autour d'un axe, de façon à venir successivement en face de chacune des plaques fixes; le courant de la pile E′ est amené aux plaques mobiles par des balais frottant sur des bagues. Quand le vase est rempli de sulfate de zinc, il suffit de faire tourner le tambour pour envoyer dans le circuit des courants alternatifs dont la période est réglée par la vitesse de rotation du tambour.

A l'aide de cet appareil, on peut étudier l'effet relatif de la fréquence sur la perte due à l'hystérésis, mais il faut toujours faire des réserves sur la valeur absolue des indications données.

Dans toutes les méthodes indiquées jusqu'ici, la mesure de W_h s'obtient par l'intégration d'une courbe; ce procédé est assez exact, mais il exige des personnes habituées au dessin, il est en outre long et délicat. Dans l'hystérésimètre de M. Ewing (fig. 8), on compare très rapidement des échantillons de tôles quelconques et la mesure peut être faite par un ouvrier soigneux.

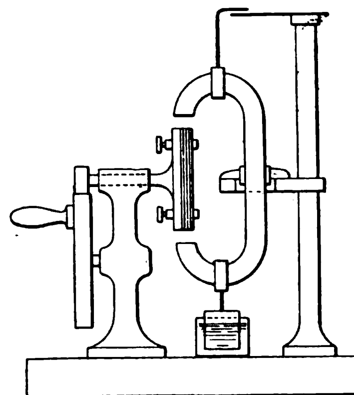


Fig. 8. — Schéma de l'hystérésimètre.

Le faisceau de tôle à essayer, coupé suivant un calibre, est monté sur un arbre auquel une manivelle permet de donner un mouvement de rotation convenable. En tournant, le faisceau passe entre les pôles d'un aimant permanent, en forme de C, dont les dimensions sont déterminées pour soumettre le fer à une induction moyenne de 4 000 unités; l'entrefer est assez grand pour que la reluctance des différents échantillons ne modifie pas sensiblement l'induction moyenne. L'aimant n'est pas fixe, il peut osciller sur des couteaux placés dans le prolongement de l'axe de rotation du faisceau.

Quand on fait tourner la manivelle, lente-

ment, l'aimant est attiré, alternativement dans un sens et dans l'autre, par l'attraction des tôles; mais, à cause de l'hystérésis, ces deux actions ne sont pas égales. Pour une vitesse de rotation plus grande, les oscillations s'atténuent, et l'aimant, sollicité par un couple proportionnel à W_h, dévie de sa position d'équilibre et s'incline dans le sens du mouvement. Une graduation empirique permet de connaître l'hystérésis en fonction de cette inclinaison. Un contrepoids permet de régler la sensibilité de l'appareil et une palette plongeant dans un liquide sert à amortir les oscillations.

La vitesse de rotation doit être assez rapide pour que l'aimant n'oscille pas et prenne une position de régime, elle doit être assez lente pour que les courants de Foucault ne troublent pas la mesure; dans ces limites, le couple déviant et, par suite, l'indication de l'index, sont indépendants de la vitesse de rotation.

L'opération se réduit donc à couper, dans la tôle à essayer, des bandes de la dimension du calibre, à les assembler dans un support fixé sur l'arbre, à tourner celui-ci et à lire, sur le cadran divisé, l'indication de l'index.

Cet appareil dont les résultats sont assez comparables entre eux, est appelé à rendre de grands services dans la fabrication des transformateurs et des machines, en permettant l'essai rapide de toutes les tôles qui y entrent.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Pile à grande surface d'électrodes C. Shrewsbury et F. Marshall (¹).

Les éléments, de forme cylindrique, sont caractérisés par la disposition spéciale des électrodes qui, tout en ne tenant que très peu de place, offrent une surface de contact relativement grande. L'électrode positive est constituée par un cylindre creux de charbon, et l'électrode négative par une lame cylindrique en zinc faisant corps avec une projection de même métal qui remonte, dans la partie interne du cylindre de charbon, jusqu'au niveau du liquide de telle façon que l'électrode zinc se trouve en regard des deux faces interne et externe de l'électrode charbon. La séparation des électrodes est assurée par un vase poreux muni d'une projection centrale dans laquelle s'emboite la projection interne de l'électrode zinc et formant un logement annulaire où se place l'électrode charbon. On conçoit donc, sans qu'il soit besoin de l'expliquer plus longuement, que grâce à la forme particulière de l'électrode zinc, la surface de contact et par suite l'intensité du courant fourni par chaque élément sera plus grande que dans un autre de même capacité ayant deux électrodes cylindriques droites. L. D.

(¹) Brevet anglais, nº 20 843, déposé le 5 novembre 1895, accepté le 26 septembre 1896.

Interrupteur à mercure Ducretet et Lejeune pour fortes bobines de Ruhmkorff (¹).

» L'interrupteur à lame vibrante de Neef ne peut être employé avec les fortes bobines de Ruhmkorff; les étincelles de rupture qui jaillissent dans l'air au point où le contact est périodiquement établi et rompu produisent un échauffement suffisant pour détériorer rapidement les surfaces métalliques et empêcher la marche régulière de la bobine. L'interrupteur de Foucault convient pour produire l'interruption périodique du courant dans le circuit primaire des fortes bobines, mais il

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1342, séance du 14 juin

est lent; de plus, les mouvements obliques de la tige interruptrice dans le mercure, la forme et les dimensions données généralement au godet à mercure et alcool pro-

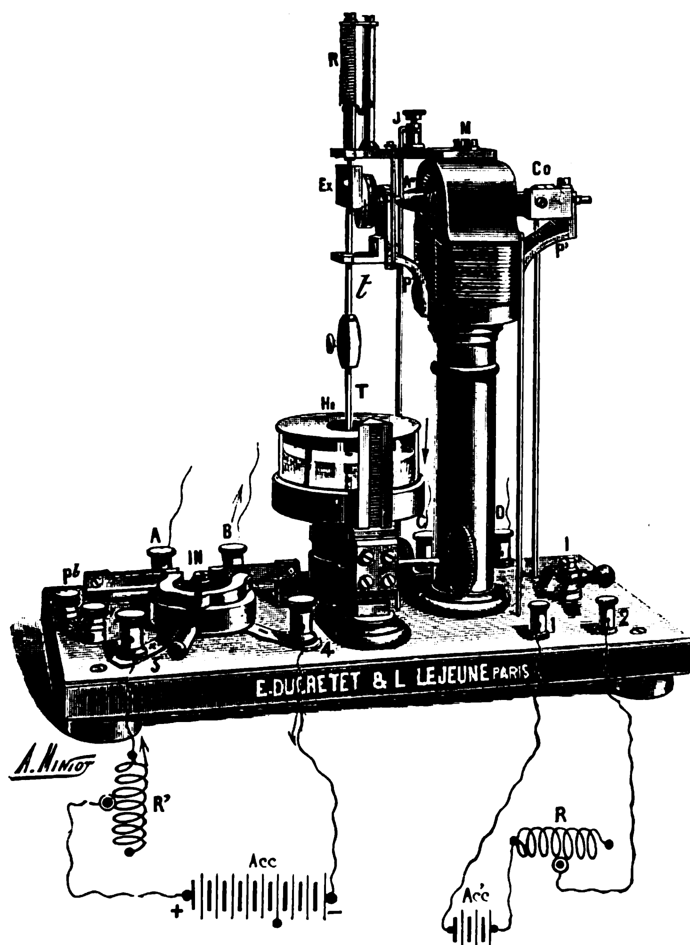


Fig. 1. — Interrupteur à mercure Ducretet et Lejeune pour fortes bobines Ruhmkorff.

voquent la projection de ces deux liquides, de tous côtés en dehors du godet, salissant tout et amenant fréquemment l'inflammation de l'alcool. Ces mauvaises conditions de fonctionnement ne permettent pas l'emploi de l'interrupteur de Foucault pour les *expériences de longue durée* et on ne peut obtenir les *variations de vitesse* qu'exigent les opérations radiographiques et la fluoroscopie.

» Le modèle que nous avons créé, représenté par la figure ci-dessus, obvie à tous ces inconvénients; il dérive de ceux décrits par MM. Gordon et Londe [1].

» La forme de son godet Hg, étroite à la partie inférieure qui reçoit le mercure, évite les mouvements latéraux du mercure; la partie large, de hauteur convenable, reçoit l'alcool. Dans ces conditions les liquides ne sont plus projetés au dehors du godet et l'alcool ne s'enflamme pas. La disposition de la tige interruptrice concourt à ce résultat des plus satisfaisants. Cette tige *t* T a un mouvement alternatif parfaitement *rectiligne*, sans masse excentrée; elle n'a aucun mouvement latéral fouettant dans le mercure, ce qui serait mauvais. Elle est équilibrée; on peut, par suite de cet ensemble, lui donner *une très grande vitesse*, variable dans des limites très étendues par le jeu d'un rhéostat si le mouvement est donné par un petit moteur électrique M, suivant la figure ci-contre.

» Le godet Hg, avec sa monture à crémaillère, peut être amené aisément au réglage convenable pendant la marche du trembleur et de la bobine.

» Un inverseur IN complète cet interrupteur indépendant.

» Pb est un plomb fusible nécessaire lorsque l'on fait usage d'accumulateurs. »

Fabrication des bacs d'accumulateurs, procédé D. M. Hawes [2].

L'amiante et le celluloïd sont les deux seules substances employées dans la construction de ces bacs. Suivant un premier procédé, on découpe, dans du carton d'amiante, les côtés et les fonds que l'on imprègne ensuite sur les deux faces de celluloïd liquide. L'assemblage des pièces ainsi préparées consiste à rapprocher leurs bords pour former un bac

---

[1] A. LONDE. Nouvel interrupteur à mercure. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 336, 13 février 1897.

[2] Brevet anglais, n° 1228, déposé le 17 janvier 1896, accepté le 16 janvier 1897.

et à les maintenir ainsi quelque temps pour permettre aux joints de se solidifier.

Dans le second procédé, l'inventeur fait une pâte très peu consistante composée d'un tiers (en poids) de celluloïd liquide et de deux tiers d'amiante pulvérisée ou à l'état fibreux. Après un brassage suffisant pour assurer le mélange intime des deux substances, cette pâte est coulée dans des moules desquels, après refroidissement, on retire un bac sans soudure, d'une homogénéité parfaite et résistant très bien à l'attaque des acides.

L. D.

Fabrication des plaques d'accumulateurs en plomb spongieux, procédé L. Hulin ([1]).

L'an dernier, en rendant compte des communications faites au Congrès de chimie, nous décrivions le procédé Léon Hulin pour l'électrolyse du chlorure de sodium fondu avec obtention d'un alliage de plomb et de sodium qui, traité par l'eau, donne de la soude caustique et nous signalions l'application de cet alliage à la fabrication de plaques d'accumulateurs ([2]). Voici, d'après l'*Industrie électrochimique*, quelques détails complémentaires sur cette fabrication :

Le grillage en plomb durci est placé dans un moule approprié formé de deux plaques de fonte; on verse dans ce moule l'alliage alcalin en fusion qui garnit toutes les alvéoles du support; après refroidissement on retire du moule une plaque pleine et unie. La transformation en plomb spongieux de l'alliage, qui renferme environ 18 à 20 p. 100 de sodium, s'opère par élimination de ce dernier métal par simple immersion. Dans l'eau pure toutefois, la réaction est trop vive et le dégagement d'hydrogène si rapide que le plomb se boursoufle et s'écaille. Pour éviter cette déformation des plaques, M. Hulin emploie des dissolutions de composés oxygénés capables d'absorber suffisamment l'hydrogène naissant. Une solution d'azotate de sodium à 20° Baumé atténue parfaitement le dégagement, de sorte que les plaques au sortir du bain sont solides et saines. Les solutions de bisulfites alcalins donnent pareillement de bons résultats.

([1]) *L'Industrie électrochimique*, p. 21.

([2]) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 314, 15 août 1895.

Électrodéposition du carbone et accumulateur à carbone; procédés Alfred Coehn ([1]).

Dans l'électrolyte de l'acide sulfurique ou de tout autre électrolyte donnant lieu à une formation d'oxygène à l'anode, une anode en charbon est peu à peu désagrégée. D'après les expériences de l'auteur, dont il a déjà été question dans ce journal, on peut, pour une température et une densité de courant convenables, obtenir la dissolution du carbone de l'anode dans l'électrolyte; ainsi, pour une solution de 1 partie d'acide sulfurique et de 1 partie d'eau la température est de 60° C. environ; pour une solution plus étendue la température peut être plus basse.

La dissolution ainsi obtenue peut être utilisée pour recouvrir, par voie électrolytique, un objet formant cathode plongée dans cette dissolution. En y plongeant un charbon servant de cathode et prenant pour cathode une substance plus électronégative que le carbone, le peroxyde de plomb par exemple, on obtient une différence de potentiel entre les électrodes et, suivant M. Coehn, l'appareil peut être considéré comme un accumulateur. J. B.

Électrodéposition des métaux et alliages phosphoreux; procédés G.-A. Webb et W.-A. Thoms ([2]).

La présence d'une faible quantité de phosphore dans les métaux ou les alliages communiquant à ceux-ci des propriétés particulières correspondant à certains besoins de l'indus-

([1]) Brevet anglais, n° 5584, 1896, déposé le 12 mars 1897, accepté le 12 mars 1897.

([2]) Brevet anglais, n° 1657, 1897, déposé le 21 janvier 1897, accepté le 13 mars 1897.

trie, MM. Webb et Thoms ont cherché à produire par électrolyse des dépôts de métaux ou d'alliages contenant une petite quantité de phosphore.

Les bains sont constitués soit par des mélanges de dissolutions de phosphates et de sels des métaux à déposer, soit par le résultat de l'attaque par un acide d'un métal ou d'un alliage riche en phosphures, soit enfin en électrolysant un acide en prenant pour anode un métal ou un alliage riche en phosphure. Pour l'électrodéposition, on peut prendre pour anode soit un de ces métaux ou alliages, soit un ou plusieurs métaux sans phosphure, soit enfin une anode insoluble; dans le premier cas le bain se maintient à peu près dans les mêmes conditions; dans le second il faut de temps en temps additionner le bain de sels contenant du phosphore, dans le troisième il faut en outre ajouter des sels des métaux déposés. Les dépôts ainsi obtenus sont remarquables par leur dureté et la beauté du poli qu'ils peuvent prendre.

Parmi les nombreuses formules indiquées dans le brevet, nous signalerons la suivante, qui permet d'obtenir un dépôt de bronze phosphoreux contenant 7 parties de cuivre et 1 partie d'étain.

On prend 30 gr d'étain contenant du phosphure de ce métal, on les transforme en chlorure et, après dessiccation de ce chlorure à une température peu élevée, dans une étuve à vapeur d'eau de préférence, on le dissout dans de l'eau distillée. A cette dissolution on ajoute une solution contenant 250 gr de soude caustique, puis une autre contenant 250 gr de phosphate de sodium, puis enfin une troisième contenant 250 gr. de cyanure de potassium à 90 ou 95 p. 100 de sel pur. Par addition d'eau on amène le volume de la solution à 2,5 litres. D'autre part, on prend 215 gr de cuivre phosphoreux que l'on transforme par voie chimique en cyanure et l'on dissout ce cyanure dans 32,5 litres d'eau. On ajoute cette solution à la précédente pour former le bain. Pendant l'opération du dépôt, ce bain doit être maintenu à une température comprise entre 70 et 85° C. L'anode est du bronze phosphoreux; l'objet à recouvrir, qui forme la cathode, peut être d'un métal quelconque, fer, acier, plomb, zinc, etc. Le dépôt est régulier, adhérent, dur, d'une belle couleur et prend un poli parfait.

J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 11 juin 1897.

M. C.-S. Whitehead, dans une communication sur l'*effet de l'eau de mer sur la télégraphie par induction*, calcule la distribution de l'induction magnétique produite par un circuit circulaire parcouru par un courant alternatif, d'abord dans le cas où le circuit est placé dans un milieu diélectrique homogène, puis dans celui où il est enfermé dans une couche sphérique conductrice ayant pour centre le centre du circuit, et enfin dans le cas où le circuit est parallèle à une couche conductrice plane et indéfinie. Il arrive à la relation

$$\frac{V_0}{\mu_0} = e^{-q\eta},$$

où V_0 est la valeur maxima de l'induction magnétique en un point situé de l'autre côté de la couche conductrice par rapport au circuit, μ_0 l'induction magnétique maxima que l'on aurait en ce même point s'il n'y avait pas de couche conductrice, η l'épaisseur de cette couche et où

$$q = \left(\frac{2\pi\mu p}{\delta}\right)^{\frac{1}{2}},$$

μ étant la perméabilité de la couche conductrice, δ sa résistance spécifique, p le produit de la fréquence par 2π.

Si l'on suppose le circuit constitué par un câble immergé dans la mer à une profondeur de 20 mètres, comme cela avait lieu dans les expériences faites pour établir une communication télégraphique entre les bateaux-phares et la terre, on a en ce point de la surface de l'eau

$$\frac{V_0}{\mu_0} = 0,21$$

pour une fréquence égale à 300 et en supposant que l'on ait $\mu = 1$ et $\delta = 2 \times 10^{10}$ C. G. S. pour l'eau de mer. Il y a donc une perte de 79 p. 100 de l'effet que l'on obtiendrait dans l'air et c'est ce qui explique, d'après l'auteur, pourquoi les transmissions télégraphiques par induction deviennent impossibles dans l'eau de mer pour une distance où elles sont encore très nettes dans l'air.

A la suite de cette communication, M. Evershed fait observer que d'après ses propres expériences, la diminution de l'induction doit être plus grande que celle à laquelle M. Whitehead a été conduit par le calcul; il pense que ce dernier a dû négliger dans ses calculs quelque terme important en pratique.

M. Yule ajoute qu'il est permis de douter de la possibilité d'appliquer à l'eau de mer la formule trouvée par M. Whitehead, car, à son avis, elle devrait contenir un terme correspondant à la polarisation du milieu.

M. Heaviside trouve qu'il est tout à fait inutile, pour l'application que M. Whitehead avait en vue, de faire un calcul complet pour une forme particulière de circuit ; le calcul de Maxwell pour l'absorption des ondes planes suffisait. Or, si l'on prend pour la conductibilité de l'eau de mer les valeurs résultant des meilleures déterminations, on trouve un coefficient d'absorption trop faible pour expliquer de cette manière les résultats négatifs des essais de communications télégraphiques par induction entre les bateaux-phares et la côte. Aussi n'admet-il pas l'explication donnée par M. Whitehead, d'ailleurs contredite par des expériences de M. Stevenson. Il ajoute qu'il est regrettable que la relation des essais de communications télégraphiques n'ait pas encore été publiée car on aurait peut-être pu y trouver la cause véritable de leur insuccès.

Le Dr J.-A. Fleming décrit une *méthode de détermination de la perte par hystérésis magnétique dans des bandes de fer rectilignes.*

La méthode du galvanomètre balistique pour la détermination de la perte par hystérésis dans un anneau de fer a l'inconvénient d'être fort longue ; celle d'Ewing où l'on compare les pertes dans l'échantillon à étudier et dans un échantillon type est très rapide, mais offre l'inconvénient de faire dépendre l'exactitude des mesures de l'étalonnage, fait par le constructeur, de l'échantillon type. La méthode que propose l'auteur évite ces deux inconvénients; elle repose sur un fait intéressant relatif à la distribution de l'induction dans une barre de fer rectiligne ou dans un paquet de bandes de fer placé dans un champ magnétique uniforme.

Si l'on met un paquet de bandes de fer de 60 cm environ de longueur et de 2,5 cm de large dans le champ uniforme d'une longue bobine, l'induction magnétique, maximum au milieu des bandes, va en diminuant lorsqu'on se rapproche des extrémités. Si la bobine est parcourue par un courant alternatif, il y a perte par hystérésis et cette perte est proportionnelle à la puissance 1/6 de la valeur maxima de l'induction. Au moyen d'un wattmètre bifilaire à miroir, on peut mesurer facilement et rapidement la perte moyenne par hystérésis dans le paquet de barres. Mais pour que cette valeur moyenne permette de déterminer la valeur hystérétique du fer, il faut connaître la valeur de l'induction à laquelle elle correspond. De nombreuses expériences faites sur des barres ou des paquets de barres de qualités, sections et longueurs différentes, ont montré que l'induction en un point de la barre situé à 0,56 de sa demi-

longueur à partir du milieu a toujours pour valeur la racine 1/6 de la moyenne des puissances 1/6 des inductions le long de la barre. En d'autres termes, si la barre était uniformément magnétisée avec une induction égale à celle qu'elle possède au point situé aux 0,56 de sa demi-longueur, à partir du milieu, la perte par hystérésis serait la même que la perte moyenne par hystérésis pour la distribution réelle du magnétisme dans la barre. En outre, l'auteur a reconnu que la correction nécessitée par la production des courants de Foucault peut être effectuée à l'aide de la valeur de l'induction en ce même point, ce qu'il résulte de ce que, dans tous les cas, le point de la barre où l'induction a une valeur égale à la racine carrée du moyen carré de l'induction est pratiquement toujours très voisin du point où cette valeur est égale à la racine 1/6 de la moyenne des puissances 1/6.

Pour appliquer ces considérations à la mesure de la perte par hystérésis, on place une bobine secondaire autour de la barre aux 56/100 de sa demi-longueur à partir du milieu et on mesure avec un voltmètre électrostatique la différence de potentiel aux bornes de cette bobine, lorsqu'un courant alternatif traverse la bobine primaire. En même temps la perte totale d'énergie est mesurée, comme il a déjà été dit, par un wattmètre sensible. La connaissance de la différence de potentiel entre les bornes de la bobine secondaire permet de déterminer l'induction correspondant à la perte ainsi que la correction nécessitée par les courants de Foucault.

En terminant, l'auteur donne de nombreux exemples de mesures montrant l'exactitude du fait qui sert de base à sa méthode.

Sur un nouveau condensateur électrolytique de grande capacité et sur un redresseur électrolytique de courants (1);

Par Ch. Pollak.

« Le phénomène de la formation d'une couche sur l'aluminium employé comme électrode positive dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique et présentant au passage du courant continu une grande résistance a été observé par Ducretet (1).

» Avant lui encore, Winkelmann (2) faisait la même observation, en opérant avec les courants alternatifs, dans une dissolution acide, sur deux électrodes d'aluminium dont celle qui, à un moment donné, devient négative ne présentait aucune résistance au courant; mais sa couche diélectrique ne se dissolvait cependant pas complètement.

» Dans les deux cas la tension de 20 volts n'a pu être dépassée à cause de la dissolution acide où l'on a opéré.

» En employant des dissolutions alcalines, je suis arrivé à faire un condensateur et un redresseur de courants alternatifs pouvant servir jusqu'à une tension de 140 volts par appareil.

» L'uniformité de la couche d'oxydes qui se forme sur la plaque d'aluminium, et qui joue ici le rôle de *lame isolante*, était une des conditions essentielles de la haute capacité de ce condensateur, je la prépare, ou plutôt la forme d'abord d'une façon spéciale.

» La plaque d'aluminium ainsi formée, mise dans une dissolution alcaline et réunie avec le pôle positif d'une source de courant électrique continu, se couvre d'une couche uniforme d'oxydes, à l'état cristallin et extrêmement mince, présentant cependant au passage des courants une résistance si grande que, même à la tension de 140 volts, un courant ne peut pas traverser cette couche.

» Nous obtenons ainsi un condensateur, dans lequel le liquide électrolytique et la partie métallique de la plaque constituent les deux armatures, tandis que la couche d'oxydes joue le rôle de lame isolante (diélectrique). Son extrême minceur est une autre source de la grande capacité de ce condensateur.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1444, séance du 21 juin.

(1) *Comptes rendus*, t. LXXX, p. 280.

(2) *Wiedem. Annal.*, t. XX, p. 91; 1883.

» En prenant des plaques poreuses d'aluminium, on obtient, sous un petit volume, une grande surface, c'est-à-dire on augmente encore sa capacité.

» Il est bien entendu que, en mettant ce condensateur dans le circuit des courants alternatifs, les deux électrodes doivent être en aluminium, tandis que, pour le circuit des courants continus, l'électrode négative peut être en un autre métal, insoluble dans la solution électrolytique, par exemple du plomb.

» Le condensateur à une seule électrode d'aluminium, mis dans le circuit des courants alternatifs, n'en laisse passer qu'une phase; ainsi, il peut être employé comme un redresseur de courants.

» Pour utiliser les deux phases des courants alternatifs, il faut réunir un ensemble de quatre de ces appareils, combinés d'une façon analogue, aux quatre soupapes d'une pompe à double effet. »

Lignes doubles et triples dans le spectre, produites sous l'influence d'un champ magnétique extérieur (¹);

Par Zeeman.

« Dans le paragraphe 19 de mon Mémoire sur l'influence du magnétisme sur la nature de la lumière émise par une substance (²) il a été remarqué déjà que la théorie de Lorentz exige que le mouvement d'un ion dans un champ magnétique donne naissance, dans des circonstances choisies, à trois groupes de vibrations : une ligne de spectre primitif en donnera trois. Mais on peut préciser un peu plus tout cela. J'ai l'honneur de présenter à la haute attention de l'Académie un résumé succinct de mes dernières expériences, concernant la constitution intime des raies spectrales magnétisées.

» Supposons la ligne du spectre primitif infiniment fine, et les lignes de force magnétique horizontales. Alors nous devrons nous attendre à observer dans la direction des lignes de force une ligne double, l'une des composantes étant polarisée circulairement dans un sens, l'autre dans l'autre sens. Dans une direction perpendiculaire aux lignes de force, une ligne triple doit devenir visible. Les extrêmes seront polarisées rectilignement le plan de polarisation étant horizontal tandis que la ligue qui occupe le milieu sera polarisée rectilignement aussi, avec cette différence que le plan de polarisation est vertical (Cf. aussi l'article de M. Poincaré, dans *L'Éclairage Électrique* du 5 juin 1897).

» Cependant, la largeur des raies primitives est finie. Une ligne double ne peut se manifester que pour une variation magnétique de la période supérieure à celle correspondant *à la moitié* de la largeur de la ligne primitive. Il est aisé de voir que la ligne triple, au contraire, exige une valeur de la force magnétique double de celle nécessaire pour la ligne double. Or, supposons que la force magnétique dépasse de très peu la valeur suffisante pour la production de la ligne double. On doit s'attendre que la ligne triple sera incomplète, transformée en effet dans une ligne élargie, d'une constitution particulière; le centre de la raie élargie sera polarisé rectilignement, les bords tous de même, mais avec le plan de polarisation perpendiculaire à celui du centre, tandis que les bords et le centre seront séparés les uns de l'autre par des bandes dont le milieu émet de la lumière non polarisée.

» Mes expériences ont vérifié ces vues. Dans un champ très intense la ligne double et la ligne triple incomplète se manifestent, d'une manière très nette, avec la ligne bleue du cadmium ($\lambda = 480\ \mu\mu$), et d'une manière moins satisfaisante avec le sodium. Tout cela est en harmonie complète avec la théorie de Lorentz.

» Du temps de la publication du Mémoire cité plus haut, j'avais observé seulement les polarisations circulaire et rectiligne *des bords*

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 506, 5 juin 1897.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1443; séance du 21 juin.

des raies dans les deux cas principaux de la magnétisation.

» Le fait que l'action spécifique du magnétisme sur la période de la lumière émise se manifeste aussi dans le cas du cadmium, avait été observé déjà par MM. Egoroff et Georgiewsky dans leur Note intéressante [1].

» Quant à la méthode de mes expériences, elle était la même, dans les traits principaux, que celle décrite dans le Mémoire cité. Cependant le réseau concave de Rowland était plus petit (rayon de courbure, 180 cm) que celui dont j'ai fait usage dans le laboratoire de Leyde.

» Un exposé plus complet du contenu de cette Note sera publié bientôt ailleurs. »

Sur la résonance multiple ;

par L. Décombe [2].

« Dans l'explication de la résonance multiple, proposée à peu près simultanément par MM. Poincaré [3] et Bjerknes [4], on admet, ce qui a d'ailleurs été vérifié par M. Bjerknes, que l'amortissement de l'excitateur est considérable par rapport à celui du résonateur ; cela permet d'expliquer pourquoi la longueur d'onde observée dépend toujours et seulement du résonateur.

» Je me suis proposé de rechercher si, en renversant les conditions d'amortissement, on pourrait rendre la longueur d'onde indépendante du résonateur employé.

» Deux choses sont à réaliser : l'augmentation du décrément du résonateur et la diminution de celui de l'excitateur.

» On peut augmenter le premier en donnant pour self-induction, au résonateur, un fil de grande résistance. Le décrément logarithmique est, en effet,

$$\pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

d'après la théorie de Thomson.

» Le décrément de l'excitateur est généralement considérable par suite de la présence de l'étincelle explosive qui constitue la partie la plus forte de sa résistance ; j'ai employé un dispositif dans lequel cette étincelle est supprimée; l'excitateur étant d'ailleurs constitué par une tige de laiton du diamètre de 7 mm, la résistance était faible, et par suite le décrément.

» *Description des appareils.* — Un premier oscillateur O_1 est directement actionné par la bobine d'induction B; l'étincelle éclate en E, dans de l'huile de vaseline. Un deuxième oscillateur O_2, en tout semblable au premier, sauf qu'il ne présente pas de solution de continuité analogue à E, est mis en vibration par l'induction électrostatique que le premier exerce sur lui. Cette induction s'exerce par l'intermédiaire des petites plaques métalliques C_1 et C'_1 jouant le rôle de capacités et séparées des plaques semblables C_2 et C'_2 par un diélectrique mince (une lame de verre).

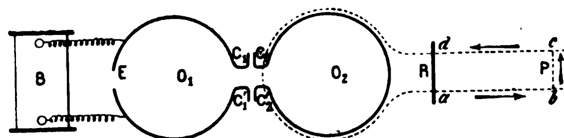


Fig. 1.

» La période d'un excitateur étant indépendante de la résistance de cet appareil, ainsi qu'il résulte de la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$ et que l'a d'ailleurs montré Feddersen [1], les deux oscillateurs précédents émettent des vibrations de même période, condition nécessaire pour que les oscilations

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 949. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 518; 5 juin 1897.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1016.

[3] Poincaré. *Électricité et Optique*. G. Carré, édit., 1891.

[4] *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 75.

[1] Feddersen. *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXIX, p. 178; 1863.

de O_2 ne soient pas troublées par celles de O_1.

» L'oscillateur O_2 agit sur un fil métallique très voisin dont il est seulement séparé par l'épaisseur d'un tube de caoutchouc qui l'enveloppe; il y induit des oscillations de même période que les siennes et qui se propagent ensuite dans les fils parallèles *ff*. (Ces fils se prolongent sur une longueur d'environ 15 m).

» Le résonateur R, pour lequel j'ai employé le dispositif utilisé par M. Nils Strindberg [1], est placé perpendiculairement à la direction des fils parallèles. Il est muni d'un micromètre qui fonctionne par le moyen d'une vis différentielle dont les pas sont respectivement 1,25 mm et 1 mm; comme la tête de vis porte 180 divisions égales, chaque division correspond à $\frac{1}{720}$ de millimètre.

» Au lieu de déplacer le résonateur le long des fils, on le laisse au repos et l'on fait mouvoir un pont mobile P placé sur ceux-ci; on détermine la distance explosive au micromètre pour une série de positions équidistantes du pont et l'on construit une courbe dont les abscisses sont proportionnelles aux chemins *abcd* parcourus le long des fils et les ordonnées aux distances explosives correspondantes.

» La distance de deux maxima consécutifs, mesurée à l'échelle de la courbe, donnera la longueur d'onde cherchée.

» Les expériences ont été faites avec des résonateurs de même capacité, mais de self-inductions différentes. Celles-ci étaient formées par un fil de fer du diamètre de $\frac{1}{10}$ de millimètre disposé en rectangle. Voici les dimensions de ce rectangle pour chacun des quatre résonateurs employés :

Résonateurs	Dimensions
I.	60 cm sur 46 cm
II	50 » 38,3
III.	40 » 30,7
IV.	30 » 23 cm.

[1] Nils Strindberg, *Arch. de Genève*, t. XXXI, p. 129, 1894.

» Le dessin ci-dessous reproduit les courbes correspondantes.

» On peut se borner à considérer le premier ventre et à multiplier par deux la distance qui le sépare de l'origine pour obtenir la longueur d'onde correspondante λ.

» D'un autre côté, en se basant sur la longueur d'onde donnée par le premier résonateur, on peut calculer ce que seraient celles des autres si elles ne dépendaient que de leurs dimensions. Ces longueurs λ' seraient entre elles comme les racines carrées de self-inductions qui sont elles-mêmes sensiblement proportionnelles aux longueurs des rectangles qui les constituent. On peut ainsi dresser le tableau suivant :

Résonateur.	λ.	λ'
I.	15,44	15,44
II	15,36	14,09
III.	15,16	12,60
IV.	14,80	10,91

» On voit que λ peut être regardé comme sensiblement constant, c'est-à-dire que, dans

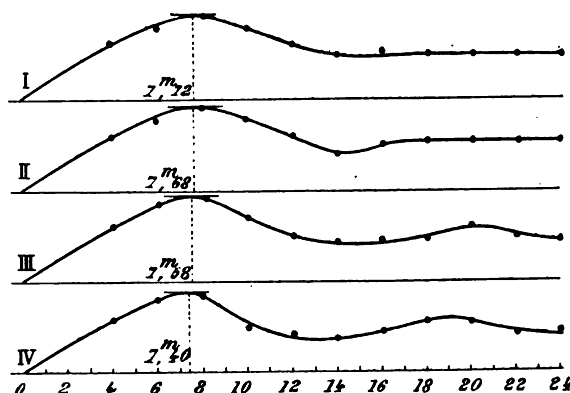


Fig. 2.

les conditions des expériences, la longueur d'onde observée est à peu près indépendante du résonateur. Il reste cependant une légère influence du résonateur qui se traduit par une diminution lente de la longueur d'onde; s'il était possible de mieux réaliser les conditions d'amortissement que l'on a cherché à remplir, on arriverait, sans doute, à la constance absolue de λ. Tous ces résultats sont

entièrement conformes à la théorie émise par MM. Poincaré et Bjerknes (¹). »

Colorations communiquées à certains sels par les rayons cathodiques ;

Par E. Goldstein (¹).

Les sels sont placés dans un tube à décharges dont la forme est représentée par la figure 1. Le tube principal a un diamètre de 4 cm environ : le tube latéral où se trouve la cathode est plus étroit et sa longueur est de

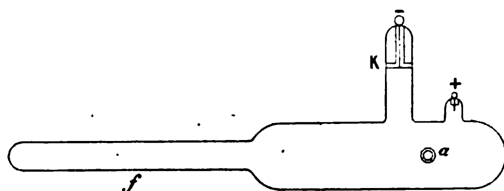


Fig. 1.

5 cm à peu près. Le sel se trouve répandu sur la paroi en face de la cathode; on peut le remuer pendant la décharge, sans troubler celle-ci, en faisant tourner le tube autour du tube *a* qui se rend à la pompe et est ajusté dans une pièce rodée. Avec une cathode disposée comme elle l'est ici, les rayons sont surtout denses dans la partie médiane et il devient inutile de les concentrer au moyen d'un aimant comme dans les premières expériences. Lorsque le sel a été soumis à l'action du rayonnement on le fait tomber dans le prolongement *f* et au besoin on peut le séparer du tube à décharges en même temps que ce prolongement.

Les colorations ainsi obtenues se modifient ensuite lorsque les sels sont exposés à la lumière ou à la chaleur, ou même spontanément. Mais ces modifications n'atteignent pas simultanément toute la masse du sel.

Ainsi le chlorure de sodium, lorsqu'il vient d'être exposé aux rayons cathodiques est jaune brun ; il passe progressivement au gris ; mais en remuant la masse, lorsque la surface est toute grise, on remet au jour des grains bruns, qui deviennent aussi gris lorsqu'ils restent quelque temps à la surface extérieure. Le changement de coloration n'est pas dû au contact du sel avec la paroi du verre, car il se produit aussi bien à la surface libre, dans un tube rempli partiellement. Les phénomènes sont les mêmes avec les sels qui reprennent leur blancheur primitive, comme le chlorure, le bromure et l'iodure de potassium. La transformation est due selon toute apparence, à des radiations provenant de l'extérieur. En effet, si on protège une partie du sel contre la lumière extérieure, par quelques couches de papier noir la région ainsi protégée demeure inaltérée, alors que les autres portions sont déjà transformées: 10 minutes d'exposition à la lumière diffuse suffisent pour faire passer le chlorure de sodium du jaune brun au gris.

Le chlorure de sodium en poudre prend sous l'influence des rayons cathodiques une teinte variant du jaune sable au jaune orangé : au bout de deux minutes, on aperçoit déjà une différence notable entre les parties qui ont été exposées à la lumière du jour et celles qui sont recouvertes de papier noir.

Si le tube renfermant le sel est plongé dans une solution d'iode dans le sulfure de carbone, la transformation ne se produit pas ; au contraire, elle se produit quand le tube est plongé dans du sulfure de carbone pur, les rayons ultraviolets ne sont donc pas nécessaires.

Les chlorure, bromure et iodure de potassium, modifiés par les rayons cathodiques, sont aussi très sensibles à l'influence des rayons visibles ; ils perdent leur coloration même quand ils sont éclairés par des sources artificielles. Cette sensibilité est même suffisante pour qu'on puisse obtenir sur la surface de ces sels des photographies reconnais-

---

(¹) La première idée de ce travail remonte au mois d'avril 1894 (voir *Rapport sur l'École pratique des Hautes Études*, 1893-1894). Il n'a pu être exécuté, faute d'espace, que l'année suivante, dans la galerie de 60 m du nouveau laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne.

(²) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 491-499, 1897.

sables, quand les positifs employés ne comportent pas trop de fins détails.

Le chlorure de sodium, devenu jaune brun, prend, après quelques minutes d'exposition à la lumière, une teinte brun sale assez foncé; il passe ensuite, si on prolonge l'exposition, au gris brun, au vert olive foncé et enfin au gris ardoise franc. Ces échantillons gris se conservent inaltérés pendant plusieurs mois, dans un endroit peu éclairé. Si on les expose à une lumière diffuse encore, mais plus vive, ils retournent, au bout de quelques semaines, à leur teinte blanche primitive. Chauffé fortement, le chlorure jaune brun aussi bien que le gris passent par le bleu avant de revenir au blanc. Le sel bleu, exposé à la lumière diffuse, pâlit peu à peu, mais il faut des mois pour qu'il redevienne blanc. Au cours de sa transformation le sel gris peut être transformé en sel bleu par la chaleur; mais le bleu est d'autant moins intense que le gris était déjà lui-même plus effacé.

Le chlorure de potassium, le bromure et l'iodure sont bien plus sensibles à l'action de la lumière que le chlorure de sodium; la coloration du chlorure disparaît après 1 ou 2 jours, celle du bromure après quelques heures d'exposition.

Le chlorure de sodium coloré, tenu rigoureusement à l'abri de la lumière, n'a pas éprouvé de changement sensible pendant 5 mois et demi. Au contraire, le chlorure de potassium, le bromure et l'iodure même conservés dans l'obscurité complète, perdent leur coloration au bout d'un temps plus ou moins long, mais toujours plus long que sous l'action de la lumière. La lumière ne fait donc qu'activer une transformation qui se produit spontanément.

L'action de la lumière est beaucoup accélérée par une élévation de température. A 90°, le chlorure de sodium est déjà gris brun après 2 minutes et demie d'exposition, tandis qu'un autre échantillon maintenu à 17°, a subi dans les mêmes conditions un changement à peine appréciable. La transformation n'est pas due à la chaleur seule, car les parties du premier échantillon qui ne reçoivent pas directement la lumière sont à peine altérées, alors que les autres sont déjà toutes grises. La décoloration du chlorure de potassium devient aussi beaucoup plus rapide quand on élève la température.

D'ailleurs l'élévation de température même en l'absence de toute lumière est susceptible de modifier la coloration des sels. Le chlorure de sodium jaune brun chauffé dans un creuset au-dessous du rouge, devient bleu.

D'après ces observations, on peut se demander si la faible quantité de chaleur que les sels peuvent recevoir des milieux ambiants, à la température ordinaire, ne suffit pas à expliquer la transformation lente que ces sels subissent dans l'obscurité complète. En réalité, on trouve que la transformation est d'autant plus lente que la température ambiante est plus basse.

Aux températures supérieures à la température ordinaire, l'action de la chaleur devient beaucoup plus rapide. Deux échantillons de chlorure de potassium sont chauffés l'un à 90° l'autre à 18° et le premier est ensuite refroidi à 18°, toujours dans l'obscurité, bien entendu. Au bout d'un quart d'heure, on ne voit pas de différence, mais après 1 heure un quart de chauffe, le sel chauffé était devenu beaucoup plus pâle que l'autre. Le chlorure de sodium résiste mieux à l'action de la chaleur. Mais le bromure de potassium est déjà presque blanc après avoir été porté à 80-90° pendant 3 minutes et demie.

Sauf pour le chlorure de sodium, ces changements de coloration sont définitifs et la couleur ne revient pas quand on refroidit le sel; de même le chlorure de sodium, devenu bleu par la chaleur, reste bleu quand on le refroidit. Mais en outre, le chlorure possède une coloration qui n'appartient qu'à une température déterminée et disparaît avec cette température. Dans un bain d'eau, le chlorure de sodium jaune devient rougeâtre; chauffé dans un brûleur Bunsen, il devient franchement rouge; si on le plonge dans l'eau froide,

la couleur rouge disparaît et revient quand on chauffe de nouveau. Si on chauffe jusqu'au rouge, le sel prend la couleur bleue.

L'auteur remet à un mémoire ultérieur l'explication théorique de ces faits, mais maintient provisoirement ses objections à l'explication proposée par MM. Wiedemann et Schmidt. M. L.

Relation entre l'absorption électrique anomale et la constitution chimique;

Par P. Drude [1].

L'absorption électrique dont il s'agit est rapportée aux ondes dont la longueur mesurée dans l'air est de 75 cm.

L'une des méthodes employées pour déterminer cette absorption est indiquée dans un précédent mémoire [2]; mais elle a l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'une quantité assez grande du liquide (au moins 1/4 de litre). La méthode suivante permet d'opérer avec des quantités beaucoup moindres.

Les fils parallèles dans lesquels se propagent les ondes sont soudés, à 17 cm environ de l'excitateur à deux tubes de laiton dont la longueur est de 20 cm. environ. Dans ces tubes peuvent glisser deux fils de cuivre, de 1,5 mm de diamètre, maintenus rigides par un morceau d'ébonite.

Sur ces fils repose, à leur extrémité, une ampoule de verre dans les parois de laquelle sont scellés deux fils de platine.

Cette ampoule dont la capacité est de 1/4 de centimètre cube renferme le liquide à étudier. A 6 cm de l'excitateur, soit à 11 cm en avant des tubes de laiton est posé sur les fils un pont B en communication avec le sol; en arrière de ce pont B, à 17 cm de distance, se trouve un tube vide, très sensible aux ondes électriques.

Le tube ne s'illumine que si l'extrémité des fils mobiles, où se trouve l'ampoule, est à une distance déterminée de B, telle qu'il y ait résonance entre les parties du système de fils situées respectivement en avant et en arrière de B. Et encore le tube n'entre bien en résonance que si la substance renfermée dans l'ampoule n'absorbe pas les ondes. On reconnaîtra donc l'existence de l'absorption à ce que le tube résonne moins bien dans ce cas que si on place un second pont métallique B′ sur les fils dans la position convenable (37 cm en arrière de B).

L'absorption anomale est particulièrement remarquable dans les alcools dont le poids moléculaire est élevé; cependant elle n'est pas liée à la complication de la molécule, car la benzine et les autres carbures d'hydrogène tant de la série grasse que de la série aromatique ont une absorption normale. Elle ne tient pas non plus à la présence de l'oxygène, car l'éther éthylique se comporte normalement; il en est de même de l'éther amylique, qui ne présente aucune absorption et très peu de dispersion. Il paraît donc vraisemblable que les éthers ont des propriétés électriques normales.

L'indice de réfraction électrique, l'anomalie électrique seraient donc des propriétés constitutives au premier chef, c'est-à-dire dépendant de la constitution chimique, puisque les alcools et les éthers isomères l'un de l'autre se comportent tout à fait différemment.

Les cétones et les aldéhydes sont aussi normales, en ce qui concerne les ondes employées; l'acétone ($n^2 = 21$) et la diéthylcétone ($n^2 = 17$), l'aldéhyde ordinaire ($n^2 = 21$) et l'aldéhyde benzolique ($n^2 = 17$), ne présentent pas d'absorption sensible, mais une dispersion normale notable.

L'anomalie électrique se rencontre au contraire dans les acides de la série grasse; acide acétique, formique ($n^2 = 6{,}0$), propionique ($n^2 = 3{,}2$), butyrique ($n^2 = 2{,}7$), isovalérianique ($n^2 = 2{,}5$). Il faut remarquer que, comme les alcools, ces corps renferment le groupe hydroxyle OH et il paraîtra vraisemblable que l'anomalie électrique est liée à la présence de ce groupe dans la molécule. D'autres faits confirment cette opinion. En effet, tandis que

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 500-510; 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 378, 15 mai 1897.

la substitution de Br ou de I à OH transforme l'alcool éthylique anomal, en iodure d'éthyle ($n^2 = 7,4$) ou bromure d'éthyle ($n^2 = 9,0$) qui sont normaux, l'introduction de OH dans le benzol qui est normal, le transforme en phénol ($n^2 = 9,7$), qui présente une absorption nettement anomale. Le sucre de canne dissous est anomal ; la gélatine, au contraire, est normale ; or, bien que la constitution exacte de la gélatine ne soit pas connue, on ne lui a jamais attribué de groupe OH.

Inversement, si on admet cette loi, on pourra des propriétés électriques d'une combinaison, conclure à sa constitution. Par exemple, on penche aujourd'hui à admettre que l'éther acétylacétique ne renferme pas de groupe OH et au contraire à attribuer un groupe OH à l'éther oxalacétique, analogue au précédent. Les principales raisons sont que : 1° l'éther oxalacétique a des propriétés acides plus énergiques que l'éther acétylacétique; 2° que la valeur de sa réfraction moléculaire indique l'existence d'une double liaison de carbone. Or l'éther oxalacétique présente une forte dispersion anomale, l'éther acétylacétique ne présente pas d'anomalie.

Cette même méthode permet de reconnaître la présence du groupe OH dans les corps solides, les expériences ont été faites sur l'acide formique, l'acide acétique et le phénol solidifiés dans l'ampoule.

L'étude d'un grand nombre de substances, en dehors de celles déjà citées, a confirmé cette relation entre l'existence de l'absorption anomale et celle du groupe OH; cependant l'eau, qui contient le groupe OH ne présente aucune absorption anomale ; c'est la seule exception dans ce sens qui ait été trouvée jusqu'ici.

Il existe sans doute d'autres groupes dont l'existence dans la molécule entraîne celle de l'absorption anomale; le groupe AzH^2 est probablement dans ce cas, car l'aniline présente une absorption anomale, très faible d'ailleurs et de même le groupe CAz.

On pourrait attribuer cette absorption anomale à des vibrations propres de la molécule; à l'appui de cette opinion vient le fait que l'anomalie croît avec le poids moléculaire des alcools, mais cette règle n'est pas générale et ne s'applique pas aux acides gras. Il faudrait du reste attribuer à ces vibrations propres un amortissement très faible. M. Millikan, d'après Nernst, explique l'anomalie électrique par la présence de petites particules conductrices dans un milieu isolant; hypothèse analogue à celle que propose Maxwell dans sa théorie mathématique des charges résiduelles.

M. L.

Appareil à rotation électromagnétique ;

Par M. KONIG [1].

Cet appareil est destiné à réaliser la rotation d'un pôle d'aimant autour d'un conducteur parcouru par un courant. Comme on le sait, il faut pour cela supprimer l'action de l'un des pôles de l'aimant sur le courant. Le résultat est obtenu dans le présent appareil en donnant à l'aimant la forme d'un U dont l'une des branches, pénètre dans le conducteur tubulaire, tandis que l'autre reste en dehors. Pour augmenter l'effet, on réunit en faisceau symétrique six aimants semblables.

M. L.

(1) *Wied. Ann*, t. LI, p. 519-522 ; 1897.

BIBLIOGRAPHIE

Le carbure de calcium et l'acétylène, les fours électriques; par C. DE PERRODIL. — Préface de Henri Moissan, membre de l'Institut. — Un volume in-8° de 322 pages avec 77 figures dans le texte, Paris. 1897. — *P. Vicq-Dunod et Cie*, éditeurs. — Prix : 7 fr.

L'acétylène commence à être mieux connu ; on peut s'en apercevoir à la diminution du nombre d'accidents entraînés par les manipulations de ce gaz. Ce n'est pas que l'ardeur des inventeurs soit moindre qu'aux premiers jours. Loin de là ! Chaque jour voit surgir de nouveaux appareils générateurs, de nouvelles lampes, de nouveaux procédés destinés à révolutionner la face des choses, à faire la fortune des inventeurs... et surtout celle du gouvernement, qui touche les annuités des brevets ! Le nombre de personnes qui s'occupent de ce sujet — qui a suscité un enthousiasme peut-être un peu exagéré comme le fait remarquer M. Moissan dans la préface de l'ouvrage que nous signalons — est incalculable. A la suite des publications que nous avons faites sur l'éclairage à l'acétylène, nous n'avons pas été peu étonné de recevoir des lettres de tous les coins de la France, d'inventeurs (?) ne sachant même pas, parfois, écrire le français, et que leurs occupations ne disposaient nullement à de semblables travaux : des cafetiers, des cultivateurs et jusqu'à un grainetier, inventeur d'un « biberon hygiénique pour l'allaitement des veaux »... !!

Un ouvrage sérieux sur l'acétylène, en instruisant les trop nombreuses personnes qui s'occupent de l'acétylène, peut donc rendre de réels services.

M. de Perrodil, qui était ingénieur dans une usine à gaz au moment de la publication des travaux de M. Moissan sur le carbure de calcium, s'est tenu au courant dès le premier jour, de tous les travaux publiés sur la nouvelle découverte ; il a pu ainsi se procurer un grand nombre de documents très intéressants qu'il a réunis dans le livre qu'il publie aujourd'hui. Ce travail sera très utile aux chercheurs, car ils y trouveront la reproduction à peu près *in extenso* des mémoires publiés par MM. Berthelot, Moissan, Gréhant, Lechatelier, etc., ainsi que le texte complet des brevets de Willson, de Pictet, etc., ce qui leur évitera de longues et fastidieuses recherches.

L'ouvrage de M. de Perrodil est divisé en sept chapitres. Dans le premier, il expose l'historique de la découverte et fait ressortir l'importance des travaux de M. Moissan ; il étudie ensuite les modes de préparation de l'acétylène employés avant la découverte du carbure de calcium. Dans le troisième chapitre sont étudiées les propriétés chimiques de l'acétylène ainsi que leurs conséquences pratiques : fabrication de l'alcool et du sucre, action sur les métaux, produits de la combustion, explosibilité, toxicité, puis ses propriétés physiques, ainsi que les conditions et appareils pour réaliser la liquéfaction de ce gaz.

Les deux chapitres suivants sont consacrés à l'étude des fours électriques, de leur application à la fabrication des carbures métalliques et des propriétés du carbure de calcium en particulier. Enfin dans les deux derniers chapitres, sont envisagées les applications de l'acétylène à l'éclairage et la construction des appareils générateurs d'acétylène par réaction de l'eau sur le carbure de calcium. L'auteur conclut en faveur des appareils dans lesquels le carbure tombe dans un excès d'eau, et décrit le gazogène qu'il a imaginé, en collaboration avec M. Séguin, pour répondre au programme tracé par M. Moissan dans la préface : « L'appareil idéal, mais qui, je crois, n'existe pas encore, consisterait en un gazomètre contenant un excès d'eau, dans lequel un fragment de carbure d'un poids déterminé tomberait automatiquement au moment voulu. Le poids de ce fragment de carbure devrait être tel qu'il puisse emplir d'acétylène le gazomètre sans produire un excès de gaz. De plus, le fragment de carbure de calcium ne devrait tomber automatiquement dans l'eau qu'au moment où le gazomètre serait à peu près vide. Je dois reconnaître que cet appareil est actuellement assez difficile à réaliser. Il faut éviter l'action de la vapeur d'eau sur le carbure, dessécher au moins partiellement le gaz produit, éviter la solubilité de l'acétylène dans l'eau, etc. »

G. PELLISSIER.

CORRESPONDANCE

A propos de la mesure de la résistance intérieure d'une pile.

Monsieur le Directeur,

Je trouve dans le n° 17 de *L'Eclairage Electrique* du 17 avril 1897, dans un article sur la « Mesure des résistances » par M. H. Armagnat, la description (p. 161) d'une variante de la méthode de Mance pour mesurer la résistance intérieure d'une pile.

Cette variante consiste (fig. 9) dans l'intercalation dans la branche du galvanomètre d'une résistance auxiliaire *r* qui, combinée avec le shunt *s*, permet d'opérer avec une grande déviation.

J'avais recherché cette disposition et je l'ai décrite dans le journal *La Lumière Electrique* t. LI, 1893, p. 311, sous ce titre : « Remarques sur l'emploi de la méthode de Mance pour déterminer les faibles résistances de piles ou d'accumulateurs. »

Si je l'ai publiée alors, c'est que je ne lui connaissais aucune antériorité dans les traités les plus récents sur la matière.

Agréez, etc.

AD. PERRIN.

CHRONIQUE

Action des rayons X sur l'épiderme. — Ce sujet vient d'être l'objet de deux nouvelles notes à l'Académie des sciences.

Dans l'une, présentée à la séance du 31 mai, MM. Paul RICHER et Albert LONDE, décrivent les caractères d'une affection cutanée observée sur la face dorsale des mains des deux électriciens et survenue à la suite d'une exposition prolongée durant plusieurs heures par jour et se répétant pendant plusieurs mois consécutifs, les mains servant, par leur interposition, à comparer les intensités des radiations. La peau, disent-ils, est lisse, luisante, rouge, violacée, offrant un peu la coloration des engelures; la surface en est durcie, comme parcheminée ; la peau paraît un peu durcie; les plis, rides, sillons sont très accentués et le fond des plis, d'aspect blanchâtre s'ulcère quelquefois; il se produit alors quelque chose d'analogue aux crevasses survenant sous l'action du froid; l'épiderme s'écaille et s'enlève par places; les poils de la face dorsale de la main et des doigts ont complètement disparu sauf aux endroits où une grosse bague en or protégeait la peau; les ongles sont aplatis, amincis, friables, striés, comme plissés longitudinalement et douloureux à la pression ; les mouvements des doigts et de la main, dans leur ensemble, sont gênés par la raideur de la peau ; il n'existe pas de douleur, à proprement parler, mais une sensation de gêne et, par instants, à l'extrémité des doigts, une sensation de serrement analogue à celle produite par des gants trop étroits.

L'autre note, due à M. G. APOSTOLI, et lue à la séance du 14 juin, se rapporte à un cas beaucoup plus grave de dermatite survenue à la suite de deux applications de rayons Rœntgen, faites à Dublin, les 22 et 28 mai 1896. Dans la première séance, d'une durée de 40 minutes, le tube de Crookes avait été distant de 15 cm de la peau de l'abdomen ; dans la seconde, d'une durée de 90 minutes, le tube avait été rapproché à 9 cm. Quelques nausées furent observées après chaque séance, mais sans vomissement. Deux jours après la dernière séance, apparition d'un érythème progressif qui a été en s'aggravant et donnait lieu à une eschare présentant toutefois une amélioration notable en juillet. Mais en août on observait une nouvelle rechute avec sensation de brûlure et de douleur intense et mortification réfractaire à tous les traitements, même à la greffe épidermique, pendant 8 mois. De fin octobre 1896 à février 1897 l'application quotidienne d'un courant d'oxygène sur la plaie arrêta l'agrandissement de celle-ci, mais sans la faire rétrocéder sensiblement; cette plaie

mesurait alors 17,7 cm sur 13,6 cm. On songea alors à un traitement électrique consistant, d'abord en bains statiques quotidiens avec effluvation sur la partie malade pendant toute la durée d'une séance d'une durée moyenne de 20 à 30 minutes, puis, à partir de fin mars, dans l'association au bain statique de l'application des courants de haute fréquence sous la forme du lit condensateur, et enfin, depuis avril, dans l'emploi bi-hebdomadaire de bains hydro-électriques avec le courant ondulatoire. Dès le début de ce traitement électrique et en particulier depuis l'association de l'effluvation statique aux applications polaires du courant ondulatoire, une amélioration progressive a été observée : détachement très lent mais toujours progressif de l'eschare sèche et adhérente et réduction de plus de la moitié de la surface primitivement sphacélée ; aujourd'hui le malade est en pleine voie de guérison.

S'appuyant sur ces résultats, le Dr Apostoli propose comme traitement efficace des dermatites rebelles provoquées par les rayons Rœntgen, l'application du courant électrique, qui devra comprendre les modes suivants, que l'on pourra associer à intensité et à durée variables, suivant les indications cliniques : *a*) l'effluvation statique simple qui, par son action directe et locale, aidée de son influence générale, hâte le travail de réparation et de cicatrisation des ulcères ; *b*) l'application polaire d'un courant galvanique, ou mieux d'un courant ondulatoire, pour accélérer la chute de l'eschare et favoriser ainsi l'action topique et trophique ultérieure de l'effluve statique ; *c*) l'action générale d'un courant de haute fréquence (par le lit condensateur) destiné, comme l'a démontré le professeur d'Arsonval, à relever le coefficient de la nutrition générale et à apporter à l'économie un supplément de force et de vitalité.

Applications médicales et chirurgicales des rayons Rœntgen. — Depuis quelques semaines, plusieurs notes ont été communiquées à l'Académie des sciences sur ce sujet.

Dans la séance du 17 mai, M. Ch. Bouchard présentait une communication sur les *applications de la radioscopie au diagnostic des maladies du thorax*, faisant suite aux trois communications faites en décembre dernier et analysées dans notre chronique (*L'Eclairage Electrique*, t. X, p. 43 et 144, 2 et 16 janvier 1897). Dans cette communication, l'auteur, après avoir donné de nouveaux exemples des services que peuvent rendre les rayons Rœntgen dans le diagnostic de la pleurésie, signale plusieurs cas d'ordre différent où ces rayons ont également été employés avec succès au diagnostic. L'un de ces cas est celui d'un malade que l'on croyait atteint de rétrécissement de l'œsophage ; la radiographie permit d'affirmer qu'il s'agissait d'un cancer de l'œsophage ; la mort du malade étant survenue 9 jours après — fort à point pour constater l'exactitude du diagnostic ! — l'autopsie permit de s'assurer que c'était bien un cancer. Les autres cas sont ceux de malades atteints d'insuffisance aortique ; la chute brusque de la tension vasculaire due à l'impossibilité d'occlusion des valvules aortiques et le reflux du sang qui en est la conséquence, mettent l'aorte dans un état de vacuité relative auquel succède brusquement une réplétion quand survient la systole suivante ; on voit alors battre dans le thorax, l'aorte ascendante à droite du sternum, l'aorte descendante à gauche de la colonne vertébrale, tandis que sur un sujet sain on ne voit pas l'aorte et que sur un sujet atteint seulement d'une dilatation de l'aorte, celle-ci est visible mais sans qu'on puisse distinguer ses battements.

Dans la même séance, M. Ollier présentait plusieurs radiographies donnant une démonstration de la régénération osseuse chez l'homme à la suite des opérations chirurgicales. Ces radiographies se rapportent à deux opérations exceptionnelles faites par l'auteur, l'une en 1889, l'autre en 1892, et dans lesquelles il a enlevé la presque totalité de la diaphyse du tibia avec l'épiphyse inférieure de cet os (c'est-à-dire toute la portion articulaire) et l'astragale correspondant ; on peut observer sur les radiographies des détails intéressants sur la façon dont s'est produite la régénération du tissu osseux, régénération d'ailleurs parfaite au point de vue orthopédique et qui fait grand honneur au docteur Ollier, puisque les sujets opérés marchent aujourd'hui sans aucun appareil de soutien. Cette application des rayons Rœntgen peut évidemment rendre d'importants services à la chirurgie, mais il convient d'ajouter que pour être nettement délimité sur les radiographies, le tissu osseux de formation nouvelle doit avoir acquis son organisation définitive et toute sa compacité : les cals récents et toutes les formations osseuses nouvelles se laissent facilement traverser par les rayons X et, malgré la solidité qu'ils ont acquise, sont va-

guement indiqués ; c'est ce qui explique pourquoi les observations faites se rapportent à des opérations datant de 8 et de 5 ans.

Toujours dans la même séance, MM. Maurice Springer et D. Serbanesco communiquaient une note relatant les observations qu'ils ont faites à l'aide des rayons Rœntgen, sur l'état du cartilage de conjugaison du tibia et du fémur dans différents troubles de croissance attribuables à des causes diverses. Lorsqu'il se développe normalement, ce cartilage donne d'abord, sur les radiographies, une zone claire, qui disparaît complètement quand le cartilage qui fait croître en hauteur, infiltré de sels calcaires et ossifié, arrête définitivement la croissance ; les apparences ne sont plus les mêmes chez les sujets atteints de myxœdème, syphilis héréditaire, tuberculose héréditaire ou acquise, ou enfants d'alcooliques.

Enfin, dans la séance du 24 mai, M. Foveau de Courmelles signalait en ces termes une application médico-légale :

« Un ouvrier couvreur, victime d'un accident dans l'exercice de sa profession, a pu, ces temps derniers, faire reconstituer sa lésion osseuse, remontant à plus d'un an. La visibilité du cal et la forme des fragments rapprochés ont décélé l'infériorité professionnelle et lui ont permis d'actionner son patron en justice.

» Ce procédé de reconstitution des lésions osseuses, longtemps après l'accident, peut également être un moyen de reconnaître les individus dont on retrouverait, par suite de crimes ou de catastrophes, des membres isolés.

» L'âge des lésions et l'identité individuelle peuvent être ainsi révélés par les rayons X. »

Emploi des courants de haute fréquence dans le traitement des affections cutanées. — Nous avons signalé à diverses reprises les bons résultats obtenus par l'emploi des courants de haute fréquence dans le traitement des diverses maladies. Les observations faites par le Dr Oudin et communiquées à l'Académie des sciences, le 14 juin, montrent que ces courants sont également très efficaces pour le traitement des affections cutanées nerveuses ou infectieuses. Les maladies d'origine franchement nerveuses, comme certaines variétés de séborrhée, se modifient avec la plus grande rapidité; d'autre part, l'action parasiticide est incontestable, car toujours, après une ou deux séances, on voit se flétrir et disparaître le molluscum contagiosum dont la nature exclusivement parasitaire est indiscutable; d'ailleurs une guérison complète de lupus vulgaire a été obtenue en deux mois à raison de deux applications par semaine et un malade atteint de lupus hypertrophique, plus actif que le lupus vulgaire, est en bonne voie de guérison.

Mais l'application locate des courants de haute fréquence sur l'épiderme demande un dispositif particulier. Si l'on se sert d'électrodes directement reliées aux pôles du solénoïde primaire de haute fréquence, les étincelles sont douloureuses et même intolérables pour une peau malade. En élevant la tension du courant par un solénoïde secondaire plongé dans l'huile ou à l'aide du résonateur Oudin, l'étincelle est facilement supportée par des téguments sains, mais est encore douloureuse s'ils sont enflammés. Elle devient tout à fait indolore si l'on prend comme électrode une sorte de condensateur formé par un fil métallique engainé dans un tube de verre. Si, le corps du malade étant relié à l'un des pôles du résonateur, on relie une telle électrode à l'autre pôle et qu'on la promène sur l'épiderme, les étincelles éclatent entre le verre et l'épiderme sans donner de sensation douloureuse et en formant comme un manchon lumineux autour du verre.

Excitation des nerfs par les champs électriques variables. — D'après une note communiquée à l'Académie des sciences dans la séance du 14 juin par M. B. Danilewsky, toutes les tentatives qui ont été faites jusqu'à présent pour trouver le moyen d'exciter le nerf par voie purement inductive ou d'influence, c'est-à-dire sans l'intervention d'aucun conducteur intermédiaire, ont échoué. M. Danilewsky a été plus heureux que ses devanciers et il est parvenu à produire cette excitation par un champ électrique oscillant.

Parmi les expériences qu'il décrit dans sa communication, expériences faites devant la société médicale du Kharkoff en novembre 1896, nous signalerons les suivantes :

Une préparation neuro-musculaire isolée est placée dans le voisinage d'une bobine de Ruhmkorff dont le circuit secondaire est fermé ou ouvert; la préparation se charge et en établissant ensuite sa communication avec un conducteur quelconque ou directement avec le sol, on peut provoquer une série de contractions qui s'affaiblissent peu à

peu jusqu'à ce que la charge électrique s'épuise. Quand l'intensité du courant inducteur est suffisante, la mise en communication avec le sol est inutile; il suffit d'approcher la main de la préparation pour apercevoir des contractions induites. Si l'intensité est encore augmentée, ou bien si l'on approche la préparation de l'un des pôles de la bobine, l'autre pôle étant relié au sol, les contractions induites s'observent sans qu'il soit besoin d'en approcher un conducteur quelconque.

Pour observer le phénomène de l'interférence des actions des deux pôles de la bobine, on relie à ses pôles des plaques métalliques identiques de forme et de dimensions, que l'on dispose parallèlement l'une à l'autre à 50 ou 75 cm de distance selon la puissance de la bobine et l'on place la préparation à égale distance de ces plaques; dans ces conditions les contractions induites n'ont pas lieu; l'irritation du nerf tombe à zéro. Mais si l'on dérange un peu la symétrie, en rapprochant la préparation de l'une des plaques, les contractions apparaissent aussitôt.

Moteurs à gaz et à pétrole. — Dans le dernier numéro de la *Revue générale des sciences* (15 juin), M. Aimé Witz publie une intéressante étude sur l'état actuel et les besoins de l'industrie des moteurs à gaz et à pétrole en France.

Après un historique rapide, dans lequel il montre que le moteur à gaz est d'invention française, l'éminent professeur de la Faculté de Lille fait ressortir le développement énorme qu'a pris à l'étranger la fabrication des moteurs à gaz et à pétrole, puis passe à la partie principale de son étude : l'évolution de cette industrie en France. Nous ne suivrons pas l'auteur dans sa description des principaux types de moteurs français; beaucoup de ceux-ci sont déjà connus de nos lecteurs et d'ailleurs les récents modèles et les récents perfectionnements ne tarderont pas à être publiés dans ce journal; nous passerons donc immédiatement à la conclusion qui nous parait mériter toute l'attention des industriels :

« Nous venons de faire connaître les principaux constructeurs de moteurs à gaz en France, en caractérisant de notre mieux l'œuvre capitale de chacun d'eux et leurs mérites respectifs : nous avons dit que ces maisons sont habilement dirigées, que leurs types de machines sont remarquables, que leur construction est bonne, mais nous avons regretté de ne pas les voir disposer de capitaux assez considérables pour produire les moteurs par séries, à des prix plus réduits qui augmenteraient rapidement leur clientèle. Les puissants établissements de l'étranger arrivent en effet à leur disputer nos commandes, malgré les droits énormes qui leur sont imposés et en dépit des frais de représentation et de réclame auxquels ils sont obligés par leur situation même : par contre, nous autres, nous ne vendons rien en Angleterre ni en Allemagne. Nous n'avons pas su recueillir l'héritage de Lebon, de Lenoir et de Beau de Rochas.

« Cette critique, ajoute M. Witz, que nous devons formuler malgré notre vif désir de faire ressortir la fécondité de notre génie national, mérite, croyons-nous, attention. Il serait, à tous égards, profondément regrettable qu'un vice d'organisation industrielle et commerciale vînt empêcher notre pays de bénéficier de la longue suite de recherches et d'efforts que nous venons de décrire et dont le sol français a été le théâtre. »

La station centrale hydraulique à courants triphasés de Minneapolis. — Le *Street Railway Journal* nous informe qu'une importante station hydraulique utilisera bientôt les chutes Saint-Anthony que forment les eaux du Mississipi dans le voisinage des deux villes de Minneapolis et de Saint-Paul. Cette station appartient à la Saint-Anthony Fall Power Company, mais le courant qu'elle produira est concédé pour une période de quarante années aux compagnies de tramways électriques qui exploitent environ 360 km de lignes dans les deux villes citées plus haut et auxquelles le courant est actuellement fourni par trois stations centrales à vapeur.

Le barrage, construit en aval du pont de la dixième avenue, à Minneapolis, est établi en vue d'un débit correspondant en moyenne à une puissance utilisable de 10 000 chevaux. Ce débit est très inconstant et est sujet à varier entre de très grandes limites; aussi a-t-on été obligé, pour régulariser la hauteur de chute, de pourvoir le barrage en question de trois écluses à manœuvre hydraulique.

Le canal d'amenée qui conduit l'eau aux turbines est pourvu d'un gril ou écumeur sur lequel les corps flottants, tels que les débris, glaçons, etc., viennent s'accumuler. Ces matériaux sont ensuite

enlevés par une machine spéciale, dite ramasseuse, actionnée par un moteur électrique ; cette machine les dépose sur un transporteur à courroie qui les entraîne dans le canal de fuite.

La station hydraulique a été conçue en prévision de l'installation de 10 unités de 1 000 chevaux composée chacune d'un générateur de courants triphasés ou continus, couplé directement à l'arbre d'un groupe de 4 roues hydrauliques système Victor de 250 chevaux chacune. Chaque générateur pourra en outre être actionné directement par un moteur à vapeur de 1 000 chevaux dont l'emplacement a été prévu pour parer à tout inconvénient en cas d'une baisse prolongée des eaux du fleuve ou d'un accident quelconque dans les barrages.

Les machines sont rangées sur une seule file occupant toute la longueur du bâtiment. Les générateurs sont séparés des turbines par un mur de 2,15 m d'épaisseur. On procède actuellement au montage de cinq alternateurs à courants triphasés d'une puissance individuelle de 700 kilowatts et de deux génératrices pour tramways de même puissance et deux excitatrices de 280 kilowats chacune.

Ce matériel, qui est fourni en totalité par la General Electric C°, est construit suivant les types adoptés par cette compagnie. Les alternateurs sont à induit tournant et engendreront du courant à 3 450 volts avec une vitesse de rotation de 130 tours par minute. Le poids total de l'un d'eux est d'environ 38 052 kg dans lequel l'induit figure pour 11 325 kg.

Les génératrices pour tramways ainsi que les excitatrices tourneront à la même vitesse de 130 tours par minute et produiront du courant à 600 volts.

Le tableau de distribution de l'usine qui occupe une vaste galerie attenant aux bureaux est disposé pour la distribution du courant sous trois voltages : 1° courant continu à 600 volts pour les lignes de tramways situées dans le voisinage; 2° courant triphasé à 3 450 volts pour les transmissions à faible distance et à 12 000 volts pour les transmissions à grande distance. En ce qui concerne la distribution sous les différences de potentiel initiales la répartition s'opérera directement au tableau. Pour celle à haut potentiel, tel que pour le transport de l'énergie à Saint-Paul, distant d'environ 16 km, le courant triphasé sera envoyé dans une batterie de transformateurs dont les enroulements sont calculés pour une transformation de 3 450 à 12 000 volts. Ces transformateurs, au nombre de 6, auront une puissance totale d'environ 1 400 kilowatts. Ils seront refroidis par une circulation énergique d'air qu'établira un ventilateur de 1,25 m de diamètre couplé à un moteur à courant continu.

Sur les lieux d'utilisation de ce courant, on érige des sous-stations dont le but principal est la conversion du courant alternatif en courant continu. A cet effet il y aura, à Minneapolis, deux postes de transformation comportant, l'un deux convertisseurs de 600 kilowatts chacun et l'autre un seul de 600 kilowatts. A Saint-Paul, où se trouve le troisième poste il y aura deux convertisseurs de 600 kilowatts chacun. La ligne qui conduit le courant à haute tension à ce dernier poste est constituée par des câbles nus portés par des poteaux. Les câbles conduisant le courant à basse tension ainsi que les feeders alimentant les réseaux des deux villes sont isolés au papier et logés dans des tuyaux d'argile vitrifiée placés dans des caniveaux.

Les deux compagnies de tramways qui ont acheté la production totale de cette nouvelle station se réservent le droit d'utiliser la quantité de courant qu'il leur plaira et de disposer du reste pour la vente aux particuliers.

L'installation de l'usine, y compris le matériel électrique, reviendra approximativement à 2 500 000 fr. On estime à 1 million le prix de revient des installations hydrauliques seules.

Précautions à prendre dans l'installation des conducteurs électriques au voisinage des magasins à poudre. — Les conditions d'installation des conducteurs au voisinage des magasins à poudre étant toujours régies par les règles, établies par Pouillet, de la circulaire du 28 décembre 1858, le ministre de la guerre, dans le but de reviser les dispositions de cette circulaire, demandait récemment l'avis de l'Académie des sciences sur les points suivants :

1° Quelles modifications peut-on apporter à ces dispositions pour simplifier, dans la mesure du possible, l'établissement des conducteurs télégraphiques et téléphoniques dans le voisinage des magasins à poudre ou à explosifs?

2° Quelles sont les dispositions à adopter, d'une façon générale, pour l'installation des conducteurs d'énergie électrique autres que les précédents, passant à proximité de ces magasins?

3° Peut-on, sans inconvénient, assurer, au moyen de lampes à incandescence, l'éclairage des locaux composant les mêmes magasins?

4° Dans quelles conditions pourrait-on installer des sonneries électriques permettant aux factionnaires de donner l'alarme aux postes dont ils dépendent, lorsque ces postes sont à grande distance des magasins? On peut admettre que les guérites de ces factionnaires sont toujours à une distance d'au moins 4 m de l'endroit où est déposée la poudre.

Dans son rapport, déposé au nom de la commission désignée par l'Académie dans la séance du 31 mai dernier, M. Violle fait remarquer qu'il n'y a pas lieu de distinguer des conducteurs d'énergie électrique les conducteurs téléphoniques ou télégraphiques qui, exposés à des coups de foudre, peuvent transmettre momentanément des quantités énormes d'énergie; il conseille d'imposer une distance de 10 m entre les conducteurs souterrains et les poudrières et, dans le cas où le conducteur est aérien, d'imposer une distance telle qu'en aucun cas il ne puisse tomber dans le voisinage immédiat des magasins (au moins 20 m) et enfin d'imposer une distance de 10 m aux conduites d'eau ou de gaz à cause des défauts possibles de conductibilité qui les rendent dangereuses en cas d'orage.

Répondant à la troisième question le rapporteur dit que le mode d'éclairage de beaucoup le moins dangereux est certainement l'éclairage par incandescence électrique. Pour diminuer les dangers qu'il pourrait présenter il convient que dans l'intérieur de la poudrière, les conducteurs soient constitués par des câbles armés souterrains, que les clefs ou boutons d'allumage ainsi que les interrupteurs ou plombs fusibles soient à l'extérieur des locaux, que le potentiel de distribution ne dépasse pas 110 volts et enfin de ne faire usage que de lampes fixes protégées par une seconde enveloppe en verre, à l'exclusion absolue de lampes portatives.

Quant aux sonneries électriques, qui sont l'objet de la quatrième question, il n'y aura pas de précautions spéciales à prendre si la ligne est souterraine, bien qu'un parafoudre placé dans la guérite puisse ne pas être inutile; si on emploie une ligne aérienne on devra la munir d'un parafoudre à chaque extrémité et de paratonnerres placés tous les 100 m sur les poteaux supportant la ligne.

La transmission de l'énergie dans les ateliers au moyen de l'électricité. — Dans une intéressante conférence faite d'abord à la Northern Society of Electrical Engineers, puis à l'Institution des ingénieurs civils de Londres, M. S. V. Clirehugh rappelle les avantages résultant de l'emploi de l'électricité comme agent de transmission d'énergie dans les ateliers.

Supposant qu'on ait besoin d'une puissance de 200 chevaux électriques devant être engendrée dans une station centrale à vapeur, l'auteur, se basant sur les connaissances qu'il a acquises par l'expérience, fait choix d'un groupe à accouplement direct formé d'un moteur vertical à haute pression et d'une dynamo hexapolaire faisant 200 tours par minute, le moteur à vapeur travaillant sous condensation et la lubrification s'opérant sous pression.

Avec un groupe semblable la production d'un kilowatt-heure entraînera une dépense d'environ 13,5 à 14,5 litres d'eau, soit entre 8 et 9 litres par cheval-heure électrique ce qui correspond approximativement à 1,15 kg de combustible brûlé dans le foyer de la chaudière.

Vient ensuite la question de l'utilisation du courant par les moteurs. L'auteur consacre d'abord quelques mots aux types des coupe-circuits à employer dans le but de permettre aux moteurs de fournir, pendant un temps relativement assez court pour ne leur causer aucune détérioration, une puissance dépassant de beaucoup la normale, puis il aborde la question de la vitesse périphérique à laquelle les moteurs doivent tourner et celle des engrenages réducteurs de vitesse. Selon lui la vitesse périphérique de 900 m par minute, correspondant à environ 1 000 tours par minute pour un moteur de moyenne grandeur, est celle qui convient le mieux pour la commande d'une machine devant fonctionner dans le voisinage de 50 révolutions par minute. Passant au mode de réduction de la vitesse il dit que chacun des trois modes de réduction de vitesse actuellement employés et qui sont ceux à vis, ceux à double réduction et ceux à simple réduction y compris les courroies, peut être employé avantageusement dans certaines circonstances; mais qu'en général on doit donner la préférence à l'engrenage à vis, les autres causant trop de bruit et s'usant assez rapidement par suite de la vitesse excessive des roues. Cet engrenage à vis a bien aussi des inconvénients; toutefois c'est le seul, à la connaissance

de l'auteur, qui ait donné des résultats assez satisfaisants. Les vis étaient, dans ces cas, en acier et faites au tour; les roues étaient en bronze phosphoreux. Les moteurs auxquels ils étaient appliqués étaient pourvus de paliers à billes.

Si le genre d'industrie dans lequel ces moteurs sont employés ne nécessite pas le besoin d'enfermer ces derniers dans des enveloppes hermétiques, l'auteur dit qu'il est préférable de les entourer d'une cage en fil de fer plutôt qu'en bois comme appareil protecteur. En ce qui concerne la commutation, il ne paraît pas avoir une très grande confiance dans l'emploi des balais en graphite pour ces moteurs et dit que des balais en fil de cuivre dont les extrémités sont bien formées conviennent mieux et peuvent servir pendant très longtemps sans aucune attention, à condition, bien entendu, qu'il ne se produise pas d'étincelles au collecteur.

Après quelques considérations relatives aux variations de vitesse à obtenir ou à empêcher, suivant les cas, et au mode d'établissement des canalisations intérieures, M. Cliehurgh en vient à la question la plus importante, celle du prix de revient, par moteur, d'une installation électrique dont la puissance à fournir est précisément celle prise comme exemple au début. Les deux séries de données qui suivent ont été prises comme moyennes entre 20 installations semblables à celles que l'on rencontre dans l'industrie textile. La première correspond à une installation faite dans des ateliers dont l'atmosphère est constamment chargée de vapeurs d'eau et où le matériel électrique doit être à l'abri de l'humidité; la puissance des moteurs variant entre 3 et 20 chevaux, on a:

Matériel générateur . .	1 477,50 fr
Engrenages	850
Canalisation.	500
Moteurs	2 177,50 fr
Tableau	650
Installation	203
Total.	5 858,00 fr par moteur installé.

Dans les données du second cas, le matériel n'est pas supposé protégé par des enveloppes hermétiques : les moteurs sont seulement entourés et ventilés. A part les prix de ces derniers, qui ne figurent que pour 1 725 fr., au lieu de 2 177,5 fr., les données sont les mêmes que les précédentes pour le reste de l'installation. Le prix par moteur installé ressort à 5 430 fr.

L'auteur conclut son intéressante conférence en ajoutant que, dans certaines conditions, le prix de revient peut être inférieur à ceux de ses estimations et que les données relatives au matériel générateur, au tableau de distribution et à la canalisation ne sont pas absolument irréductibles.

Balance à dispositif enregistreur électrique. — Dans la séance de l'Académie des sciences du 31 mai dernier, M. G. Weiss présentait à ce sujet une note dont nous extrayons les passages suivants :

« Le problème que j'ai cherché à résoudre était de construire un appareil permettant de tracer la courbe de variation de poids d'un corps à l'aide d'une balance quelconque. En général, les balances enregistrantes ont leur système inscripteur solidaire de la balance même; leur usage est par suite très limité; car, ou bien elles ne peuvent supporter de corps lourd, ou bien elles manquent de sensibilité pour les variations faibles. D'ailleurs, il y a presque toujours des résistances passives du fait du mécanisme d'inscription. Le dispositif auquel je me suis arrêté est absolument indépendant de l'instrument de pesée, il lui est relié électriquement et se prête à tout poids et à toute sensibilité. Pour réaliser ce but j'ai utilisé le principe d'Archimède déjà employé par Rédier. La balance de Rédier offrait les inconvénients signalés plus haut, elle ne pouvait guère servir que pour l'homme; de plus, les transmissions mécaniques se faisant par des intermédiaires très délicats, il y a de fréquents arrêts dans le fonctionnement de l'enregistreur.

» Pour tracer la courbe des variations de poids d'un corps, je place ce corps dans le plateau d'une balance de sensibilité appropriée et je fais la tare approximative à l'aide de grenaille de plomb et d'un vase contenant de l'eau. Un plongeur cylindrique partiellement immergé dans l'eau du vase achève d'établir l'équilibre. Si, par suite des variations du poids du corps, cet équilibre est rompu, le fléau s'incline légèrement, établit un contact et un moteur électrique immerge ou soulève le plongeur jusqu'à ramener un nouvel équilibre. Il suffit d'inscrire les déplacements du plongeur pour avoir la courbe des variations de poids du corps. Dans chaque cas, il faudra choisir convenablement

le diamètre du plongeur et établir l'échelle des ordonnées à l'aide d'une expérience préalable. Afin d'éviter les grandes oscillations du fléau, on le cale de façon à ne lui laisser qu'un déplacement à peine perceptible.

» On voit qu'à l'aide des appareils courants de laboratoire on peut réaliser cet enregistrement. J'ai de plus fait construire, par M. Richard, un modèle très soigné où tout le système enregistreur est disposé sur un plateau de dimensions assez restreintes et qui peut par suite s'adapter rapidement à une balance quelconque.

La traction électrique à Denver (Amérique). — Par suite de la mise en circulation, sur quelques-unes des lignes de la Compagnie des tramways de Denver, de voitures à deux boggies, les voies qui n'étaient pas construites pour un tel trafic, s'usèrent rapidement et la Compagnie dut se préoccuper de leur réfection.

Dans la 15me rue où cette transformation est partiellement exécutée sur une ligne à double voie on a creusé à la place de chacune d'elles une tranchée de 0,90 m de profondeur que l'on a ensuite comblée avec divers matériaux formant trois couches distinctes : celle qui occupe le fond a 0,30 m de hauteur et est composée de moellons et de terre convenablement tassés ; la seconde couche n'a que 0,25 m et est formée d'un lit de terre, un de cailloux, un d'argile, et un dernier de moellons dont les interstices sont remplies de sable. Enfin, la troisième couche est constituée par un lit de béton d'environ 0,17 à 0,18 m d'épaisseur que l'on a étendu sur la seconde préalablement pilonnée. C'est sur ce lit de béton que reposent les traverses devant supporter la voie proprement dite. Ces traverses ont $0,15 \times 0,20 \times 2,40$ m et sont en cœur de sapin imprégné d'asphalte. Celles qui sont destinées à supporter un joint de rails sont munies, sous la portée de ce joint, d'une large plaque d'acier sont la partie inférieure est garnie de longs crampons scellés dans le béton. Ce dispositif assure un point d'appui particulièrement solide aux éclissages et réduira de beaucoup l'effet, si nuisible au maintien des voies, du ressaut des véhicules.

Les rails employés sont du type à T du poids d'environ 37 kg par mètre courant. L'entrevoie est de 1,05 m, et la distance entre les deux centres de voies est de 3,60 m. Les rails à T sont renforcés à l'aide de deux autres rails occupant tous deux la face interne des rails principaux auxquels ils sont réunis par des boulons. L'un de ces rails, celui du milieu, a une section en forme d'Y dont la branche de gauche, légèrement incurvée, s'appuie contre l'extrémité d'un rail en forme d'L et la branche de droite se trouve directement sous le champignon du rail à T. La rainure est constituée par l'ouverture même des branches de l'Y. Le troisième rail, dit de renfort, a, comme il a été dit plus haut, la forme d'un L légèrement courbé aussi pour ramener sa base à côté de celle du deuxième sur le patin du rail T. Le tout est assemblé à l'aide de boulons en nombre suffisant pour amener une rigidité parfaite.

Les éclissages électriques sont faits partout avec des joints en alliage plastique Edison-Brown.

La traction électrique à Port-Chalmette (New-Orléans). — Situé à une faible distance de New-Orléans, Port-Chalmette est le port d'exportation du coton dont une énorme quantité est, comme on le sait, récoltée dans les environs immédiats de New-Orléans. Jusqu'à présent le transport du coton s'effectuait par wagons traînés par des locomotives à air comprimé ; depuis quelque temps la traction s'effectue au moyen de quatre locomotives électriques qui amènent les balles de coton jusque sur les appontements le long desquels sont rangés les navires.

Ces locomotives, construites par la General Electric C°, sont d'un type tout à fait spécial. Chacune d'elles se compose d'une plate-forme massive et très peu élevée reposant directement sur un truck simple muni de deux moteurs N. W. P. 50. Sur la plate-forme située à l'avant se trouvent les appareils de manœuvre. Une colonne creuse au sommet de laquelle pivote la perche à trôlet est fixée au milieu ; enfin à l'arrière se trouvent les caisses contenant les résistances. De plus, chaque locomotive est munie de freins très efficaces et de boîtes à sable qui lui permettent de descendre les pentes en charge en toute sécurité comme les gravir sans patiner. Le poids brut de chacune d'elles est d'environ 6,8 tonnes. Avec un train formé de wagons plats du poids d'environ 3 500 kg chacun et portant en tout 232 balles de coton pesant près de 260 kg l'une, l'effort de traction développé au démarrage est sensiblement de 1 500 kg ; il tombe à

990 kg dès que le train a atteint une vitesse d'environ 10 km à l'heure. L'effort maximum atteint est de 1 812 kg.

L'énergie électrique est engendrée dans une petite station construite à cet effet près des magasins de Port-Chalmette. Son équipement se compose de deux dynamos pour tramways Thomson-Houston d'assez faible puissance et d'une autre, de type G. E, de 150 kilowatts, couplée directement à un moteur à vapeur Eric. L'ensemble fonctionne dans d'excellentes conditions.

La traction électrique dans les mines de Peckville (Pensylvanie). — Dans une note, lue dernièrement à l'Association of Anthracite Coal Operators, M. F.-J. PALTT, fait ressortir une fois de plus l'avantage qui résulte de l'emploi de l'électricité pour la traction des bennes dans les mines. Il donne à ce sujet quelques détails intéressants sur les installations qu'il a faites dans les galeries des mines d'anthracite d'Ontario et de Sturges de la New-York and Scranton Coal C°, situées à Peckville, à 12 km environ de Scranton.

La traction des wagonnets dans les galeries horizontales servant à amener le charbon de la mine à l'usine de concassage, s'effectue maintenant à l'aide d'une locomotive électrique de 6, 5 tonnes à trôlet. L'énergie électrique est fournie par un groupe de 55 kilowatts installé dans un petit bâtiment voisin de l'entrée des puits Ontario.

La longueur du fil aérien est de 1,35 km. Son prix d'achat ainsi que celui de la locomotive et du matériel générateur revient à 30615 fr. En comptant une dépréciation annuelle de 5 p. 100, on aura un total de 1 525,75 fr à diviser entre 200 jours de travail, soit par jour 7,60 fr.

Les frais d'exploitation par jour se répartissent comme il suit :

Mécanicien	8,75 fr
Aide	6,25 «
Électricien	3,90 «
Réparations	5,15 «
Dépréciation	7,60 «
Huile.	1,20 «
Total . .	32,85 fr

Cette somme correspond au transport de 250 tonnes de charbon soit une dépense de 0,131 fr par tonne.

La même quantité de charbon transportée par les mêmes wagonnets remorqués, comme ils l'étaient précédemment, par des mules revenait à :

14 mules à 2,50 fr. . . .	35 fr
7 conducteurs à 6,75 fr. .	47,25 fr
Total. .	82,25 fr

Le transport d'une tonne de charbon revenait donc sensiblement à 0,3291 fr. L'économie réalisée annuellement s'élève à 9 900 fr pour 200 jours de travail. La locomotive parcourt environ 33 km par jour et ne coûte en réparations que 5 à 6 centimes par km.

La Compagnie possède une installation semblable de traction électrique à l'entrée des galeries et son exploitation accuse également une économie importante sur l'ancien système.

Outre ces installations, il y a dans l'un des puits de la mine Sturges une pompe centrifuge qu'actionne un moteur électrique nuit et jour et sans interruption d'un bout à l'autre de l'année. L'avantage de l'électricité sur la vapeur dans cette application ressort avec un bénéfice net de 7 565 fr pour les 970 jours écoulés depuis sa mise en fonctionnement.

La traction électrique par accumulateurs à Francfort. — La nouvelle ligne de Galluswarte-Hauptbahnhof, à Francfort, est en exploitation courante depuis la fin de mai. La traction s'effectue uniquement par voitures à accumulateurs. La batterie est logée tout entière sous les banquettes; les éléments sont du type Pollak à fermeture hermétique et sont placés dans des boites sur deux traverses en fers lesquelles reposent sur un lit de caoutchouc qui sert tant à amortir les secousses qu'à empêcher l'humidité d'atteindre le bois et à assurer un bon isolement. Chacune de ces boites peut être aisément retirée de l'extérieur et replacée de même. Les connexions sont établies, pour le circuit de charge, avec deux barres en cuivre montées sur des isolateurs fixés sous les sièges et faisant le tour des banquettes. C'est à deux des extrémités de ces barres que viennent se fixer les conducteurs de la dynamo. Pour la décharge, les éléments sont reliés au moteur par l'intermédiaire du contrôleur. Le moteur n'est que de 15 chevaux et la tension du courant aux bornes se maintient invariable à 150 volts.

Le courant de charge est emprunté à la station

centrale à courant alternatif de la ville. Ce courant est transformé en courant continu par le transformateur rotatif qui est installé dans ce but au remisage de Galluswarte. Deux heures de charge suffisent à chaque voiture pour assurer leur service quotidien. Outre le moteur, la batterie alimente les 4 lampes à incandescence qui assurent leur éclairage.

L'*Elektrotechnische Rundschau* auquel nous sommes redevables de ces renseignements ajoute que les voitures peuvent contenir chacune 34 voyageurs et pèsent deux tonnes seulement y compris les accumulateurs. Il serait intéressant de connaître en outre la durée de chaque charge.

La remise à neuf des lampes à incandescence, en Amérique. — Il y a seulement un an, se formait à Lynn (Massachussetts) une compagnie dont le but était de remplacer les filaments, brûlés par l'usage, des lampes à incandescence, par des filaments neufs de manière à faire servir les ampoules plusieurs fois. En raison de l'habileté qu'elle a su acquérir dans cette industrie la compagnie a rapidement prospéré et possède actuellement des vastes ateliers d'où sortent journellement des milliers de lampes remises à neuf.

La façon d'opérer est la suivante : les vieilles lampes sont, à leur réception, soigneusement examinées ; celles dont les ampoules présentent des défauts sont rejetées, les autres sont rangées par ordre de grandeur dans des supports spéciaux formées chacun d'une planche percée de trous dans lesquels pénètre le culot des lampes. Après avoir coupé le point de soudure des ampoules, les filaments sont enlevés par cette ouverture et remplacés par de nouveaux que l'on soude aux fils de platine du culot à l'aide d'un ciment spécial dont la composition n'est pas divulguée, mais qui, paraît-il, donne de très bons résultats; il a, entre autres avantages, celui d'être bon conducteur et de ne pas dégager de gaz sous l'action du passage du courant. L'opération suivante consiste à faire tourner lentement l'ampoule dans la flamme d'un brûleur à gaz pour faire disparaître le dépôt noirâtre interne. Après cela, on soude au chalumeau un bout de tube qui s'adaptera à la pompe. Le vide est ensuite fait lampe par lampe, dans les ampoules ainsi préparées. La fermeture des ampoules s'effectue comme pour les lampes neuves. La dernière opération consiste à mesurer la puissance lumineuse des lampes à l'aide des appareils photométriques d'un laboratoire spécial. On les maintient ensuite allumées pendant quelques heures pour éprouver la solidité des soudures des filaments puis on les classe suivant leur grandeur dans le magasin de vente.

Aptitude à la détonation et à l'inflammation de l'acétylène dissous dans l'acétone. — Dans leurs essais, relatés dans les *Comptes rendus* du 10 mai (t. CXXII, p. 934 à 1004), MM. Berthelot et Vieille se sont servi : 1° d'une bouteille en fer de 700 cm³ de capacité munie à sa partie inférieure d'une douille métallique à parois minces pénétrant dans le liquide et pouvant recevoir une amorce au fulminate renforcée de 1,5 gr ; 2° d'une bombe cylindrique en acier de 50 cm³ de capacité, de 12 cm de longueur et 2,2 cm de diamètre, munie de manomètres crushers enregistreurs et contenant un fil fin de platine pouvant être porté à l'incandescence par un courant électrique ; 3° d'une grande bouteille de fer de 13,5 litres de capacité, telle que les récipients employés pour l'acide carbonique liquide, contenant un fil de platine pouvant être porté au rouge.

La bouteille de 700 cm³, renfermant 320 gr d'acétone, a été chargée de 132 gr d'acétylène, soit 41,25 p. 100 du poids d'acétone ; la pression initiale était de 13 kg : cm² environ à la température de 15°. Sous l'action de la détonation de l'amorce la bouteille fut fêlée par la violence du choc transmis par le liquide, mais elle ne fit pas explosion. On se rappelle que, dans une expérience semblable faite avec l'acétylène liquide (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 132, 17 octobre 1896), la bouteille avait été réduite en menus fragments ; l'acétylène dissous paraît donc plus stable que l'acétylène liquide, mais il convient de faire observer que, d'après les expériences suivantes, cette stabilité ne se maintient pas quand la pression initiale devient plus grande.

Dans les essais faits avec l'éprouvette il y a lieu de distinguer plusieurs cas, suivant que la pression initiale était inférieure ou supérieure à 10 kg-cm² et que le fil de platine rougi était placé dans l'atmosphère gazeuse surmontant la dissolution, à la surface du liquide ou enfin au sein de celui-ci. Lorsque *la pression initiale n'est pas supérieure à* 10 kg par centimètre carré et que le fil est *au sein*

de l'atmosphère gazeuse, les pressions observées (89 à 95 kg par centimètre carré suivant le volume du gaz) ne diffèrent pas de celles qui correspondent à la combustion de l'acétylène pur sous la même pression ; on peut en conclure que la portion d'acétylène dissous dans l'acétone a été entièrement soustraite à la décomposition. Dans les mêmes conditions de *pressions initiales* de 10 kg par centimètre carré, si l'inflammation est produite *à la surface* ou *au sein de l'acétone*, une portion de l'acétylène dissous se dégage par l'échauffement de la dissolution et les pressions produites (107 à 155 kg par centimètre carré) s'élèvent sensiblement au-dessus des pressions normales, qui correspondraient à la décomposition explosive de l'acétylène gazeux, envisagé sous sa tension initiale avant cet échauffement, mais elles sont néanmoins une dizaine de fois plus faibles que celles qui correspondraient à une décomposition de la totalité de l'acétylène ; la décomposition parait donc limitée au gaz dégagé du sein du liquide, l'acétylène dissous se trouvant presque entièrement soustrait à la combustion. Sous *une pression initiale de* 20 kg par centimètre carré, le fil incandescent étant *au sein de l'atmosphère gazeuse*, les pressions observées (303 à 558 kg par centimètre carré) ont parfois dépassé le double de la pression qui eût été développée par le gaz pur se décomposant sous la même pression initiale. La *pression étant toujours de* 20 kg par centimètre carré et l'inflammation étant produite soit *à la surface* soit au *sein de l'acétone* les pressions ont atteint plusieurs milliers de kilogrammes par centimètre carré, montrant ainsi que l'acétylène dissous s'est décomposé ; l'acétone lui-même est décomposé, par un mécanisme d'entraînement très intéressant auquel les auteurs consacrent une note spéciale (p. 996), car on ne trouve dans l'éprouvette, après la décomposition explosive, qu'une masse compacte de charbon.

Les essais avec la grande bouteille de 13,5 litres de capacité ont été effectués pour contrôler les résultats obtenus avec l'éprouvette dans les conditions de stabilité de l'acétylène dissous. Un volume de 7 litres d'acétone ayant été introduit dans la bouteille, cet acétone a été saturé d'acétylène, sous des pression qui ont atteint 6 kg par centimètre carré environ dans un premier essai, et 8,2 kg par centimètre carré dans une seconde expérience. L'inflammation par le fil de platine *placé dans l'atmosphère gazeuse* n'a donné lieu, dans les deux expériences, à aucune fuite par la fermeture ; la bouteille est devenue brûlante à la main, sur la moitié supérieure, c'est-à-dire dans la partie qui renfermait l'acétylène gazeux, tandis que la partie inférieure, dans laquelle se trouvait l'acétone saturé d'acétylène est demeurée froide ; elle a pu servir ensuite à des essais d'éclairage exécutés avec l'acétylène non décomposé. En l'ouvrant postérieurement pour la vider, on y a trouvé un volumineux dépôt de charbon, en poudre impalpable, délayée dans l'acétone et occupant, après repos, un volume apparent de plusieurs litres.

Au point de vue des applications les conclusions de MM. Vieille et Berthelot peuvent être résumées ainsi : l'acétylène, dissous dans un liquide tel que l'acétone est moins dangereux que l'acétylène pur attendu que le carbure dissous cesse d'être explosif jusqu'à une pression d'au moins 10 kg par centimètre carré vers la température de 15° ; dans ces dernières conditions un récipient d'un litre contient de 100 à 120 gr d'acétylène, soit environ 50 fois plus qu'il ne peut contenir d'acétylène comprimé sans risque d'explosion. Toutefois il convient d'observer que la portion gazeuse qui surmonte la dissolution conserve ses propriétés explosives et la faculté de développer par là des pressions voisines du décuple de la pression initiale ; pour y résister, il faudra employer des récipients suffisamment épais, de l'ordre de ceux où l'on a coutume de renfermer l'anhydride carbonique liquide. Si la pression initiale de dissolution atteint 20 kg par centimètre carré (et sans doute déjà au-dessous de cette limite), on est exposé à à réaliser, en cas d'inflammation interne, les conditions d'une explosion totale de l'acétylène, avec développement d'une pression de plusieurs milliers d'atmosphères et rupture des récipients métalliques. Ce risque existe également si le récipient, même rempli sous une pression initiale inférieure à 10 kg par centimètre carré à la température ordinaire, vient à subir l'influence d'une température notablement plus élevée.

Conditions de propagation de la décomposition de l'acétylène pur. — En vue des applications pratiques de l'acétylène actuellement à l'étude, MM. Berthelot et Vieille ont également cherché les valeurs limites des pressions à partir desquelles

les propriétés explosives de l'acétylène sont susceptibles de prendre une importance dangereuse. Ils ont étudié deux modes d'excitation comme dans le cas de l'acétylène dissous : par incandescence d'un fil métallique et par une amorce au fulminate. Le premier mode correspondrait, en pratique, à l'échauffement intense et localisé qui peut se produire soit dans l'attaque d'une masse de carbure en excès par de petites quantités d'eau, soit par des frictions énergiques entre des pièces métalliques en contact avec le gaz (serrage d'écrou ou de pointeaux de fermeture). Le second mode d'excitation peut se trouver réalisé par la déflagration de petites quantités d'acétylures très explosifs, tels que ceux dont se recouvrent, au contact de l'acétylène, les pièces de cuivre ou de ses alliages, dès que l'ammoniaque ou ses sels, et même divers autres composés salins, se trouvent en demeure d'intervenir.

Pour mettre en évidence l'influence du refroidissement sur les phénomènes de propagation, les auteurs ont expérimenté, tantôt sur des masses de gaz renfermées dans des vases de diamètre sensiblement égal à la hauteur, la capacité des vases variant de 4 à 25 litres, tantôt sur des tubes métalliques de 22 mm de diamètre et de 3 m de longueur, dans lesquels l'influence des surfaces de refroidissement était considérable.

Dans les essais faits avec le récipient de 4 litres il n'y a pas eu inflammation de l'acétylène par un fil incandescent tant que la pression est restée inférieure à celle d'une colonne de mercnre d'une hauteur de $128 = 76 + 52$ cm, mais il y a eu inflammation par la détonation d'une amorce de 0,1 gramme de fulminate dès la pression de $100 = 76 + 24$ cm ; avec le récipient de 25 litres l'inflammation par détonation ne se produit que pour une pression de $114 = 76 + 38$ cm. L'ensemble des essais montre qu'il n'est pas possible, pour un mode d'exitation déterminé, de définir une pression critique absolument fixe au-dessous de laquelle la propagation serait impossible tandis qu'immédiatement au-dessus la propagation serait certaine. Toutefois on peut regarder comme sans danger probable une surpression de 52 cm de mercure (7 m d'eau), lors de l'inflammation provoquée par un point en ignition et la surpression de 17 cm de mercure (2,3 m d'eau), pour l'inflammation provoquée par l'amorce au fulminate.

Les essais faits dans un tube d'acier de 22 mm de diamètre et de 3 m de longueur, fermé à l'une de ses extrémités par un tampon métallique, et à l'autre par une cloche en verre fort, mastiquée elle-même dans un raccord, n'ont fourni que des résultats négatifs, pour des surpressions initiales de 76 cm, trois fois plus élevées que celles qui avaient permis d'observer la décomposition dans des capacités de même ordre dont la longueur était considérable.

Électrodéposition de l'or. — Récemment nous signalions une modification apportée par M. E. Andreoli au procédé Siemens et Halske pour le traitement des minerais aurifères. (*L'Eclairage Electrique*, t. XI, p. 110, 10 avril 1897.) En faisant connaître à ses lecteurs le procédé de M. Andreoli, notre confrère *L'Industrie électrochimique* en décrit un autre dans lequel les anodes en fer du procédé Siemens et Halske sont remplacées par des anodes en zinc amalgamé.

Bien que ce remplacement ne paraisse pas avantageux *a priori* puisque le zinc avait déjà été essayé puis rejeté par MM. Siemens et Halske, la société qui a fait des essais avec le procédé modifié, revendique les avantages suivants en faveur de l'emploi du zinc : 1° le zinc précipite loi des solutions cyanurées sans qu'il soit nécessaire de recourir à d'autres agents; 2° il est le métal le plus électropositif que l'on puisse employer dans ce cas et il forme avec un autre métal plus électronégatif un couple qui précipite l'or des solutions cyanurées sans qu'il soit besoin d'avoir recours à un courant électrique provenant d'une source extérieure; 3° il est particulièrement apte à la précipitation électrolytique de l'or des solutions cyanurées, si l'on recourt en outre à un courant électrique.

A la fin des essais les plaques de zinc n'étaient, à ce qu'on dit, que très peu usées; reste à savoir si cette faible usure est moins coûteuse qu'une usure plus sensible des anodes en fer du procédé Siemens et Halske.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 10 Juillet 1897. 4e Année. — N° 29.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE (1)

V. Lord Kelvin considère un conducteur en cuivre de rayon *a* exprimé en centimètres, parcouru par un courant sinusoïdal de fréquence 80. Dans ces conditions il a calculé la table suivante des valeurs de $\frac{R_1}{R}$:

$2a$	$\frac{R_1}{R}$	$2a$	$\frac{R_1}{R}$
0,0	1,0000	4,5	1,8628
0,5	1,0000	5,0	2,0430
1,0	1,0001	5,5	2,2190
1,5	1,0258	6,0	2,3937
2,0	1,0805	8,0	3,0956
2,5	1,1747	10,0	3,7940
3,0	1,3186	15,0	5,5732
3,5	1,4920	20,0	7,3250
4,0	1,6778	»	»

Pour les valeurs intermédiaires, on doit interpoler. Afin de faciliter ces interpolations, nous allons d'abord établir la représentation graphique de la table de lord Kelvin, puis donner des formules représentant la courbe avec une approximation suffisante. Nous poserons :

$$\left.\begin{aligned} x &= 2a, \\ y &= \frac{R_1}{R}. \end{aligned}\right\} \qquad (31)$$

La courbe représentative est tracée sur la figure 2.

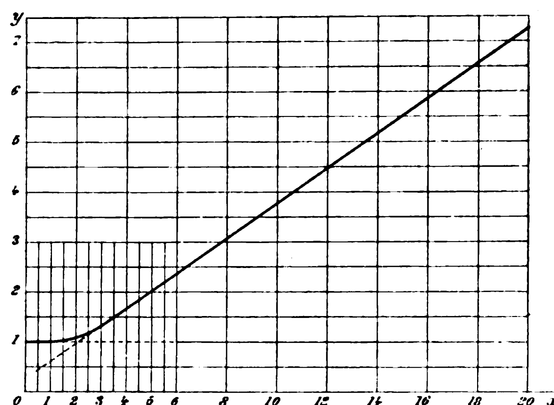


Fig. 2. — Représentation graphique de la table de lord Kelvin.

Elle présente très approximativement la forme de deux directions rectilignes raccordées par un arc de courbe.

Supposons que l'on veuille déterminer la valeur de y pour un courant de 80 périodes par seconde, traversant un câble de 1 000 mm², soit 10 cm² de section.

Nous aurons :

$$\frac{\pi x^2}{4} = 10.$$

D'où :

$$x = \sqrt{\frac{40}{\pi}} = 3{,}57.$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 25 juin, p. 5.

Sur la courbe nous lisons à première vue que la valeur de y correspondant à cette valeur de x est environ 1,52.

En interpolant régulièrement, nous aurions :

Pour . . . . $x = 4$ $y = 1,6678$,
Pour . . . . $x = 3,5$ $y = 1,4920$,
Donc pour une variation $\delta x = 0,5$ $\delta y = 0,1858$,
» $\delta x = 1$ $\delta y = 0,3716$,
» $\delta x = 0,07$ $\delta y = 0,0260$,

et par conséquent :

Pour . . . . $x = 3,57$ $y = 1,5180$,

La lecture de la courbe est donc bien suffisante.

Il paraît bien difficile de la représenter par une formule unique. On a un assez bon résultat par l'expression :

$$y = 0,36768 + 0,009266\,x + \frac{3,30566}{x^4} + \sqrt{0,1153\,x^2 - 0,2593}.$$

Mais cette équation est trop compliquée pour les applications de la pratique, et il est préférable d'employer les trois formules suivantes :

1° De $x = 0$ à $x = 1$, on peut prendre $y = 1$ sans erreur appréciable ;

2° De $x = 3$ à $x = 20$, on peut employer la formule :

$$y = 0,3541\,x + 0,2614, \tag{32}$$

avec une erreur inférieure à 6 p. 1 000, quel que soit x, comme le démontre le tableau ci-dessous :

x	y		DIFFÉRENCE	ERREUR relative.
	TABLE de L. Kelvin.	FORMULE (32)		
20,0	7,3250	7,3434	+ 0,0184	0,0025
15,0	5,5732	5,5732	»	»
10,0	3,7940	3,8024	+ 0,0084	0,0022
8,0	3,0956	3,0942	— 0,0014	0,0005
6,0	2,3937	2,3860	— 0,0077	0,0032
5,5	2,2190	2,2090	— 0,0100	0,0045
5,0	2,0430	2,0329	— 0,0108	0,0050
4,5	1,8628	1,8550	— 0,0078	0,0042
4,0	1,6778	1,6780	+ 0,0002	0,0001
3,5	1,4920	1,5010	+ 0,0090	0,0060
3,0	1,3186	1,3240	+ 0,0054	0,0041

La concordance est vraiment très bonne au point de vue des calculs pratiques.

3° Enfin de $x = 1$ à $x = 3$, nous avons une courbe de raccordement qui s'exprime avec une erreur inférieure, elle aussi, à 6 p. 1 000 par la parabole :

$$y = 0,0788\,x^2 - 0,1559\,x + 1,0771, \tag{33}$$

ainsi que le prouve le tableau ci-dessous :

x	y		DIFFÉRENCE	ERREUR relative.
	TABLE de L. Kelvin.	FORMULE (33)		
3,0	1,3186	1,3186	»	»
2,5	1,1747	1,1799	+ 0,0052	0,0044
2,0	1,0805	1,0805	»	»
1,5	1,0258	1,0206	— 0,0052	0,0051
1,0	1,0001	1,0000	»	»

Nous avons donc aisément la valeur de y pour tous les conducteurs en cuivre parcourus par des courants alternatifs de fréquence 80.

Il nous reste à étendre ce résultat à des conducteurs de nature quelconque parcourus par des courants de fréquence quelconque, ce qui s'obtient sans difficulté en partant des formules (18') et (24), soit :

$$\mu\omega l = \alpha R. \tag{24'}$$

Si a désigne le rayon du conducteur exprimé en millimètres, N la fréquence du courant et R_0 la résistance du fil de diamètre égal à 1 millimètre et d'un quadrant terrestre de longueur, nous aurons :

$$R = \frac{R_0 l}{4a^2},$$

$$N = \frac{\omega}{2\pi},$$

et par suite :

$$\alpha = \frac{8\pi a^2 N\mu}{R_0}.$$

Pour un conducteur en cuivre, parcouru par un courant de 80 périodes par seconde, nous aurions :

$$\alpha' = \frac{2\pi \times 80 \times 100\,x^2}{R'_0}.$$

La même valeur de y sera obtenue pour :

$$\alpha = \alpha'.$$

Ce qui donne :

$$\frac{8\pi a^2 N\mu}{R_0} = \frac{8\pi\, 2000\, x^2}{R'_0},$$

ou enfin :

$$x = a\sqrt{\mu \times \frac{N}{2000} \times \frac{R'_0}{R_0}}. \qquad (34)$$

Supposons d'abord que nous employions un fil de fer pour lequel :

$$R_0 = 16.10^5, \qquad R'_0 = 20{,}5.10^4.$$

Nous aurons :

$$x = \frac{8a}{1000}\sqrt{N\mu}. \qquad (35)$$

Par exemple pour le fil de 6 mm examiné plus haut, nous aurions :

$$\mu = 100, \qquad N = 500, \qquad a = 3,$$
$$x = \frac{2\,400}{1\,000}\sqrt{5} = 5{,}37.$$

Nous en déduisons :

$$y = \begin{cases} 2{,}16 & \text{d'après la courbe,} \\ 2{,}163 & \text{d'après la formule (32).} \end{cases}$$

Ce résultat prouve que la divergence des séries (25) pour la valeur 6,67 de α n'était qu'apparente.

Pour un conducteur en cuivre nous aurions plus simplement :

$$x = \frac{2{,}236\, a}{100}\sqrt{N}. \qquad (36)$$

Ce qui en faisant :

$$a = 5, \qquad N = 1\,600,$$

donnerait :

$$x = 4{,}472,$$

et :

$$y = \begin{cases} 1{,}80 & \text{d'après la courbe,} \\ 1{,}8449 & \text{d'après la formule (32).} \end{cases}$$

Si enfin le conducteur en cuivre était spécifié par sa section en millimètres carrés au lieu de l'être par son diamètre, on aurait :

$$S = \pi a^2, \qquad R'_0 = R_0,$$

et par suite :

$$x = \frac{1}{80}\sqrt{NS}. \qquad (37)$$

Pour un câble de 1 000 mm² de section parcouru par un courant de fréquence 166, nous obtiendrons :

$$x = 5{,}141,$$

et par suite :

$$y = \begin{cases} 2{,}05 & \text{d'après la courbe,} \\ 2{,}0820 & \text{d'après la formule (32).} \end{cases}$$

La formule (32) étant purement empirique, il nous est interdit de nous en servir pour extrapoler; il est nécessaire dans ces conditions de nous rendre compte entre quelles limites nous restreint la table de lord Kelvin.

Prenons d'abord un fil de fer de 6 mm de diamètre et de perméabilité 100. La table de lord Kelvin nous permet de nous mouvoir depuis la fréquence nulle jusqu'à une fréquence maxima donnée par l'équation (35).

$$20 = \frac{24}{100}\sqrt{N}.$$

D'où l'on tire :

$$N = 7\,000 \text{ environ.}$$

Les vibrations perceptibles à l'oreille humaine montent jusqu'à 20 000 et même 30 000 périodes par seconde. Cependant on peut admettre que les principaux harmoniques qui interviennent dans la voix humaine ont une fréquence inférieure à 7 000 et par conséquent que la table de lord Kelvin est suffisamment étendue pour permettre l'étude de la téléphonie à travers des lignes en fer.

En ce qui concerne les câbles d'énergie, nous admettrons la limite supérieure 144 pour la fréquence et la formule (37) nous donnera la limite supérieure de la section dans ce cas.

$$1\,600 = 12\sqrt{S}.$$

D'où :

$$\lim S = 18\,000 \text{ mm}^2.$$

Si la fréquence est moindre, la limite s'élèvera encore, et comme on est loin de l'atteindre, nous pouvons admettre que la table de lord Kelvin est suffisamment étendue pour l'étude des effets des courants alternatifs employés dans l'industrie.

Mais d'une part nous n'avons aucun renseignement sur ce que devient la résistance quand la fréquence augmente beaucoup, comme dans le cas des expériences de Hertz et de leur dérivées, d'autre part nous n'avons aucune donnée sur les variations de la self-inductance. Nous allons résoudre ce double problème.

VI. Nous allons chercher l'équation différentielle dont la solution donnerait R_1 et L_1. Posons :

$$H(\alpha) = \sum_0^\infty \frac{\alpha^{n+1}}{n!\,(n+1)!}. \tag{38}$$

On voit immédiatement que les équations (27) peuvent s'écrire :

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{1}{2i}[H(\alpha i) - H(-\alpha i)], \\ B &= -\frac{1}{2}[H(\alpha i) + H(-\alpha i)]. \end{aligned}\right\} \tag{27}$$

On déduit de là :

$$\left.\begin{aligned} A^2 + B^2 &= H(\alpha i)\,H(-\alpha i), \\ \frac{A}{B} &= i\,\frac{H(\alpha i) - H(-\alpha i)}{H(\alpha i) + H(-\alpha i)}. \end{aligned}\right\} \tag{39}$$

Nous ne savons pas exprimer $H(\alpha)$ au moyen de fonctions connues d'une façon simple, mais nous pouvons écrire l'équation différentielle dont cette fonction dépend.

En effet :

$$\frac{d^2H(\alpha)}{d\alpha^2} = \sum_1^\infty \frac{\alpha^{n+1}}{(n-1)!\,n!} = \sum_0^\infty \frac{\alpha^n}{n!\,(n+1)!} = \frac{H(\alpha)}{\alpha}. \tag{40}$$

Posons :

$$H(\alpha) = e^{\xi(\alpha)}, \tag{41}$$

il viendra :

$$\frac{d^2 e^\xi}{d\alpha^2} = \frac{e^\xi}{\alpha}, \tag{40'}$$

ou :

$$\frac{d^2\xi}{d\alpha^2} + \left(\frac{d\xi}{d\alpha}\right)^2 - \frac{1}{\alpha} = 0. \tag{42}$$

Cette équation peut se ramener au premier ordre en prenant :

$$\zeta(\alpha) = \frac{d\xi}{d\alpha}. \tag{43}$$

D'où :

$$\frac{d\zeta}{d\alpha} + \zeta^2 - \frac{1}{\alpha} = 0. \tag{44}$$

Voyons maintenant ce que deviennent les expressions (39) à la suite de ces diverses transformations :

Nous avons :

$$A^2 + B^2 = H(\alpha i)\,H(-\alpha i) = e^{\xi(\alpha i) + \xi(-\alpha i)}. \tag{39'}$$

D'où :

$$\log(A^2 + B^2) = \xi(\alpha i) + \xi(-\alpha i), \tag{39''}$$

et par suite :

$$\frac{d}{d\alpha}\log(A^2 + B^2) = \frac{d\xi(\alpha i)}{d\alpha} + \frac{d\xi(-\alpha i)}{d\alpha}, \tag{45}$$

ou comme :

$$\frac{d\xi(\alpha i)}{d\alpha} = i\,\frac{d\xi(\alpha i)}{d(\alpha i)},$$

$$\frac{d}{d\alpha}\log(A^2 + B^2) = i\,[\zeta(\alpha i) - \zeta(-\alpha i)]. \tag{45'}$$

En substituant dans la première des relations (30) il vient :

$$r = \frac{R_1}{R} = \frac{\alpha i}{2}[\zeta(\alpha i) - \zeta(-\alpha i)], \tag{30'}$$

et en effectuant le développement [1] en série

[1] Ces transformations permettent aussi de retomber sur la formule à l'aide de laquelle lord Kelvin a construit sa table.

Posons en effet

$$H(\alpha i) = \varphi(\alpha) + i\psi(\alpha).$$

Nous aurons

$$A^2 + B^2 = \varphi^2(\alpha) + \psi^2(\alpha),$$

de $\zeta(\alpha)$ on retomberait identiquement sur la série dont les premiers termes sont donnés aux formules (25).

Quant à la self-inductance, nous aurons :

$$\frac{A}{B} = i\frac{e^{\xi(\alpha i)} - e^{\xi(-\alpha i)}}{e^{\xi(\alpha i)} + e^{\xi(-\alpha i)}}. \qquad (39''')$$

Si nous posons :

$$\left.\begin{aligned} \xi(\alpha i) &= q' + qi, \\ \zeta(\alpha i) &= S + Ti, \end{aligned}\right\} \qquad (46)$$

nous aurons :

$$\frac{A}{B} = i\frac{e^{qi} - e^{-qi}}{e^{qi} + e^{-qi}} = -\text{ tang } q = \text{tang }(-q). \quad (39'''')$$

Par suite :

$$q = -\text{arc tang }\frac{B}{A}, \qquad (47)$$

et :

$$L_1 = L - \mu l\left(\frac{1}{2} - \frac{dq}{d\alpha}\right). \qquad (30'')$$

Or d'après (43) et (46) :

$$S + Ti = \zeta(\alpha i) = \frac{d\xi(\alpha i)}{d(\alpha i)} = \frac{dq'}{d(\alpha i)} + i\frac{dq}{d(\alpha i)}$$
$$= -i\frac{dq'}{d\alpha} + \frac{dq}{d\alpha}.$$

Donc :

$$\frac{dq}{d\alpha} = S,$$

et :

$$\left.\begin{aligned} L_1 &= L - \mu l\left(\frac{1}{2} - S\right), \\ y &= -\alpha T. \end{aligned}\right\} \quad (30''')$$

Or l'équation (44) peut s'écrire :

$$\frac{d\zeta(\alpha i)}{d(\alpha i)} + \zeta^2(\alpha i) + \frac{i}{\alpha} = 0,$$

ou, en remplaçant $\zeta(\alpha i)$ par sa valeur (46) :

$$-i\frac{dS}{d\alpha} + \frac{dT}{d\alpha} + S^2 - T^2 + 2STi + \frac{i}{\alpha} = 0.$$

La partie réelle donne :

$$\frac{dT}{d\alpha} + S^2 - T^2 = 0.$$

D'où :

$$S^2 = T^2 - \frac{dT}{d\alpha} = \frac{y^2 - y}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha}\frac{dy}{d\alpha}.$$

Nous avons d'ailleurs d'après (24') et (34) :

$$\alpha = \frac{x^2}{4}.$$

On déduit de là :

$$d\alpha = \frac{x}{2}dx,$$

$$S^2 = 16\frac{y^2 - y}{x^4} + \frac{8}{x^3}\frac{dy}{dx},$$

et en substituant dans (30''') :

$$L_1 = L - \mu l\left[\frac{1}{2} - \frac{4y}{x^2}\sqrt{1 - \frac{1}{y} + \frac{x}{y^2}\frac{dy}{dx}}\right]. \qquad (48)$$

Cette formule nous donne L_1 en fonction de y et de $\frac{dy}{dx}$ dont la forme est suffisamment connue pour les valeurs de x assez grandes.

Dès que x est assez grand pour que L_1 diffère sensiblement de L on peut représenter y par une droite de coefficient angulaire égal à $\frac{1}{2\sqrt{2}}$

---

par conséquent

$$\log(A^2 + B^2) = \log[\varphi^2(\alpha) + \psi^2(\alpha)],$$

et enfin

$$v = \alpha\frac{\psi(\alpha)\varphi'(\alpha) + \varphi(\alpha)\psi'(\alpha)}{\varphi^2(\alpha) + \psi^2(\alpha)},$$

en désignant par φ' et ψ' les dérivées de φ et ψ par rapport à α.

D'ailleurs

$$H(\alpha i) = \sum_0^\infty \frac{(\alpha i)^{n+1}}{n!(n+1)!}.$$

Donc

$$\varphi(\alpha) = \sum_1^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n}}{(2n-1)!(2n)!},$$

$$\psi(\alpha) = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{n+1}}{(2n)!(2n+1)!},$$

et il est facile de voir qu'en prenant pour variable $2\sqrt{\alpha}$ on retombe identiquement sur la formule de lord Kelvin.

comme nous le verrons plus loin. On peut donc écrire [1] :

$$L_1 = L - \mu l \left[\frac{1}{2} - \frac{4y}{x^2} \sqrt{1 - \frac{1}{y} + \frac{x}{4\sqrt{2}y^2}} \right]. \quad (48')$$

Dans le cas d'une ligne double télégraphique ou téléphonique on considère la self-inductance de l'ensemble des deux conducteurs d'aller et de retour et la formule devient :

$$L_1 = L - \mu l \left[1 - \frac{8y}{x^2} \sqrt{1 - \frac{1}{y} + \frac{x}{4\sqrt{2}y^2}} \right]. \quad (48'')$$

Reprenons dès lors la ligne double en fil de fer de 6 mm pour laquelle nous avons trouvé plus haut :

$$\mu = 100, \qquad N = 500, \qquad x = 5,37, \qquad y = 2,163.$$

Nous aurons :

$$L_1 = L - 100\, l\,[1 - 0,52] = L - 48\, l.$$

Si les fils sont à 50 cm d'écartement, on aurait sensiblement :

$$L = 120\, l,$$
$$L_1 = 72\, l.$$

Ce résultat est très important, car l'abaissement de la self-inductance effective par rapport à la self-inductance statique concourt avec l'augmentation de la résistance effective par rapport à la résistance statique à l'explication de l'incapacité du fer, de constituer les lignes téléphoniques à grande distance.

Nous examinerons ce point tout à l'heure avec plus de détail, et allons chercher d'abord ce que deviennent la résistance et la self-inductance quand le paramètre x croît indéfiniment.

[1] Il serait préférable théoriquement de résoudre l'équation (44), ce qui n'est pas impossible puisque l'équation (40) est une équation de Laplace, dont il est facile de ramener l'intégration à un certain nombre de quadratures. Il n'y aurait aucune difficulté de déduire de cette intégrale la valeur de ξ, puis celle de ζ et le problème doit être considéré comme résolu au point de vue analytique. Mais au point de vue pratique ces quadratures sont trop compliquées de forme pour se prêter aux applications.

VII. L'équation (44) peut s'écrire :

$$\frac{d\zeta}{d\alpha} + \zeta^2 \left(1 - \frac{1}{\alpha\zeta^2}\right) = 0, \quad (44')$$

ou

$$\frac{d\zeta}{d\alpha} - \frac{1}{\alpha}(1 - \alpha\zeta^2) = 0. \quad (44'')$$

Lorsque α croît indéfiniment, il ne peut se présenter que quatre cas ; ou bien $\alpha\zeta^2$ tend vers 0, ou bien il tend vers une limite finie, ou bien il croît indéfiniment, ou bien il ne tend vers aucune limite, mais en conservant une valeur finie.

Supposons d'abord que $\alpha\zeta^2$ croisse indéfiniment avec α. Pour d'assez grandes valeurs de α l'équation (44') se réduira sensiblement à :

$$\frac{d\zeta}{d\alpha} + \zeta^2 = 0,$$

d'où

$$\zeta = \frac{1}{\alpha + c},$$

et

$$\alpha\zeta^2 = \frac{\alpha}{(\alpha + c)^2}.$$

Cette expression tend vers 0 quand α croît indéfiniment, ce qui est contre l'hypothèse.

Supposons maintenant que $\alpha\zeta^2$ tende vers 0 quand α croît indéfiniment ; l'équation (44'') montre que l'on a pour d'assez grandes valeurs de α :

$$\zeta = \log \alpha + c,$$

et alors $\alpha\zeta^2$ croîtrait indéfiniment avec ζ, ce qui est contre l'hypothèse.

Le facteur $\alpha\zeta^2$ conserve donc une valeur finie quand α croît indéfiniment. Déterminons cette valeur et pour cela posons :

$$\alpha\zeta^2 = \zeta'.$$

L'équation (44) peut s'écrire :

$$\frac{d\zeta'}{d\alpha} - \frac{\zeta'}{\alpha} + 2(\zeta' - 1)\sqrt{\frac{\zeta'}{\alpha}} = 0,$$

ou encore :

$$\frac{dz'}{d\alpha} + 2(z'-1)\sqrt{\frac{z'}{\alpha}}\left[1 - \frac{1}{2(z'-1)}\sqrt{\frac{z'}{\alpha}}\right] = 0.$$

Nous allons démontrer que z' tend vers une limite et que cette limite est l'unité. Si en effet cela n'était pas, $z' - 1$ conserverait une valeur finie et par suite l'expression

$$\frac{1}{2(z'-1)}\sqrt{\frac{z'}{\alpha}},$$

tendrait vers 0.

Donc pour des valeurs suffisamment grandes de α l'équation se réduirait sensiblement à

$$\frac{dz'}{d\alpha} + 2(z'-1)\sqrt{\frac{z'}{\alpha}} = 0.$$

Posons :

$$z' = z''^2,$$

l'équation deviendra :

$$2z''\frac{dz''}{d\alpha} + 2(z''^2 - 1)z''\sqrt{\frac{1}{\alpha}} = 0,$$

d'où :

$$\frac{dz''}{z''^2 - 1} + \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha}} = 0,$$

ce qui nous donne :

$$\frac{z''-1}{z''+1} = Ce^{-4\sqrt{\alpha}}.$$

Lorsque α croît indéfiniment, z'' tend vers 1, donc z' aussi, puisque α est essentiellement positif, et par suite il est impossible que z' tende vers une limite finie différente de l'unité et que z' ne tende vers aucune limite.

Il en résulte que, αz^2 tendant vers 1, $z(\alpha i)$ tendra vers $\frac{1}{\sqrt{\alpha i}}$. Or,

$$\frac{1}{\sqrt{i}} = \frac{1-i}{\sqrt{2}}.$$

Donc $z(\alpha i)$ tendra vers $\frac{1-i}{\sqrt{2\alpha}}$ et par suite y aura pour limite la valeur,

$$\lim y = \sqrt{\frac{\alpha}{2}}, \tag{49}$$

Ce qu'on peut écrire :

$$\lim y = \frac{x}{2\sqrt{2}}. \tag{49'}$$

On déduit de là que la formule (48) devient, lorsque x croît indéfiniment :

$$\lim L_1 = L - \frac{\mu l}{2}. \tag{50}$$

Ce résultat intéressant pouvait se prévoir. Lorsque x devient infiniment grand, tout le courant se concentre à la surface du conducteur. Dès lors le flux de force se réduit au flux des tubes extérieurs au conducteur :

$$\Phi = \Phi_m = \Phi_a,$$

et par conséquent, d'après (16)

$$\mu\frac{d\Phi_m}{dt} = \left(L - \frac{\mu l}{2}\right)\frac{dI}{dt}.$$

De l'équation (49) on déduit que la courbe représentative a une asymptote dont le coefficient angulaire a pour valeur :

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} = 0{,}35355.$$

Ce coefficient est excessivement voisin de celui de la droite représentative (32) que nous avons empiriquement déterminée, ce qui nous porte à admettre que l'on peut sans commettre d'erreur relative considérable, étendre l'emploi de cette formule (32) à des valeurs de x bien supérieures à 20.

Il est même préférable de construire une courbe admettant cette asymptote et très voisine de la courbe représentative de la table de lord Kelvin, qui est légèrement concave vers les y positifs.

On trouve ainsi que la table est bien représentée, pour les valeurs de x supérieures à 5, par la formule

$$y = 0{,}35355x + 0{,}2327 + \frac{0{,}097}{\sqrt{x}}, \tag{51}$$

dont le dernier terme devient rapidement négligeable quand x croît.

Le tableau ci-dessous démontre cette proposition.

x	y		DIFFÉRENCE	ERREUR relative.
	TABLE de L. Kelvin.	FORMULE (51)		
5	2,0430	2,0448	+ 0,0018	0,00090
5,5	2,2190	2,0185	— 0,0005	0,00025
6	2,3937	2,3936	— 0,0001	0,00004
8	3,0956	3,0954	— 0,0002	0,00007
10	3,7940	3,7988	+ 0,0058	0,00153
15	5,5732	5,5609	— 0,0125	0,00222
20	7,3250	7,3254	+ 0,0004	0,00001

Cette formule peut vraisemblablement être employée pour toutes les valeurs de x supérieures à 5, ainsi que le montre une vérification faite au hasard.

Prenons un fil de 1 mm de diamètre parcouru par un courant sinusoïdal de fréquence $\frac{10^8}{4}$. Remarquons qu'on ne peut faire croître la fréquence indéfiniment, car la longueur d'onde électrique tendrait vers 0 et notre équation fondamentale ne s'appliquerait plus. Mais une fréquence de $\frac{10^8}{4}$ donne une longueur d'onde de $\frac{3 \cdot 10^8 \cdot 4}{10^8} = 12$ mètres qui est assez grande par rapport aux dimensions du circuit employé pour que nous puissions admettre que notre équation est encore applicable.

La formule (36) nous donne :

$$x = \frac{a}{100}\sqrt{5\,\mathrm{N}} = \frac{10^4\sqrt{5}}{400} = 55,9.$$

Cette valeur de x donne dans la formule (51)

$$y = 20,$$

et par suite pour la résistance par mètre :

$$\mathrm{R}_1 = 20,5 \times 10^{-3} \times 20 = 0,41 \text{ ohm}.$$

Or, M. Vaschy a calculé directement cette résistance [1] en partant des équations fondamentales et a trouvé exactement le même nombre 0,41 ohm. Cette vérification est très bonne, et nous croyons pouvoir employer par suite la formule (51) et même la formule (32), qui en diffère peu, pour toutes les valeurs au delà de la table de lord Kelvin.

On peut se demander ce que devient la résistance quand le diamètre du conducteur croît indéfiniment.

Nous avons :

$$\lim y = \sqrt{\frac{x}{2}} = a\sqrt{\frac{\omega\mu\pi}{2\rho}},$$

donc :

$$\lim \mathrm{R}_1 = \lim \mathrm{R}y = a\sqrt{\frac{\omega\mu\pi}{2\rho}} \times \frac{\rho l}{\pi a^2} = \frac{l}{a}\sqrt{\frac{\mu\omega\rho}{2\pi}}.$$

Ainsi la résistance effective tend vers 0 quand le diamètre croît indéfiniment, mais tandis que la résistance statique décroît en raison inverse du carré du diamètre, la résistance effective ne décroît plus qu'en raison inverse du diamètre. C'est quand le diamètre est infiniment grand, un infiniment petit du premier ordre et non pas du second comme la résistance statique.

VIII. Ces formules s'appliquent à plusieurs catégories de faits très intéressantes ; nous en examinerons particulièrement deux : la question de la transmission téléphonique, et celle de l'énergie par les courants alternatifs.

La téléphonie par les lignes en cuivre ne paraît pas sensiblement affectée par le phénomène que nous étudions. Nous avons vu que sur la ligne de Paris à Marseille, dont le diamètre est de 4,5 mm, les sons de fréquence 500 n'augmentent même pas la résistance de 1 p. 100.

Il n'en serait toutefois plus de même si on était obligé de porter le diamètre à 1 cm, soit pour construire une ligne téléphonique très longue, soit pour tenter de réaliser un câble téléphonique sous-marin entre la France et l'Algérie. Nous avons vu en effet que dans ce cas les sons de fréquence 1600 ont pour effet de presque doubler la résistance, et par suite de diminuer notablement la self-inductance et il est à peu près certain que la voix serait altérée d'une manière considérable.

[1] Voir VASCHY, *Théorie de l'électricité*, § 135, p. 302.

L'altération est encore bien plus considérable si l'on emploie des lignes en fer et il nous semble que l'effet que nous étudions soit *le seul motif pour lequel le conducteur massif en fer est impropre à la téléphonie à longue distance*.

La forme de la courbe du courant à l'arrivée dépend en effet, comme l'a montré M. Vaschy [1], d'un paramètre de la forme

$$h = \frac{L}{CR^2},$$

où L, C, R, désignent respectivement la self-inductance, la capacité, et la résistance totale de la ligne. Les meilleures conditions sont réalisées quand h prend la valeur $\frac{1}{18,5}$, car la courbe du courant à l'arrivée reproduit presque exactement la courbe d'émission pour cette valeur de h [2].

Il semble résulter de comparaisons avec des lignes en cuivre que la correspondance téléphonique cesse d'être possible quand h devient inférieur à $\frac{1}{35}$.

La perméabilité des fils de fer télégraphiques, mesurée par M. Massin, a été trouvée comprise entre 80 et 100. Prenons la valeur 80 qui est celle pour laquelle l'altération est moindre ; pour l'écartement ordinaire de 50 cm et des fils de 5 mm de diamètre, on aurait sensiblement, en supposant la ligne double, les données suivantes :

$$\begin{aligned} L &= 105\, l, \\ C &= 45.10^{-6}\, l, \\ R &= 5200, \\ l &= 0,04 = 400 \text{ km}. \end{aligned}$$

D'où l'on tire :

$$h = \frac{1}{11,5}.$$

(1) Voir *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CVII, p. 1145, 31 décembre 1888, et *La Lumière Électrique*, t. XXXI, p. 83, 12 janvier 1889, note de M. Vaschy *sur la propagation du courant*.

(2) M. Vaschy a bien voulu nous indiquer ce nombre $\frac{1}{18,5}$ comme plus favorable encore que la valeur $\frac{1}{16}$ qu'il avait primitivement calculée.

C'est donc une ligne qui serait dans de très bonnes conditions pour les émissions télégraphiques, sous les réserves faites au paragraphe III. Mais faisons-la parcourir par un courant sinusoïdal de fréquence 500, moyenne des sons de la voix humaine. Nous aurons sensiblement

$$\begin{aligned} L_1 &= 56\, l, \\ C &= 45.10^{-6}\, l, \\ R_1 &= 5200 \times 1,6, \end{aligned}$$

et par conséquent,

$$h_1 = \frac{1}{55}.$$

C'est-à-dire que cette ligne ne serait plus apte à la transmission de la parole. Cette conclusion pourrait se vérifier expérimentalement, et cette vérification présenterait un certain intérêt.

On arriverait au même résultat en considérant une ligne simple en fil de fer, avec retour par la terre, mais avec moins de précision en raison de l'incertitude qui règne dans ce cas sur la valeur de la self-inductance. Il ne faut pas espérer du reste arriver à un bon résultat en augmentant le diamètre du conducteur, comme le montre le tableau ci-dessous, qui donne une valeur suffisamment approchée de la résistance effective, exprimée en ohms par kilomètre, de divers fils de fer pour plusieurs fréquences correspondant à certains sons de la voix humaine, en admettant la valeur 100 pour la perméabilité.

DIAMÈTRE en mm.	RÉSISTANCE POUR UNE FRÉQUENCE DE				
	0	49	484	2500	14400
3	18	18	22	43	95
4	10	10	15	31	70
6	4,4	4,4	9	20	46
10	1,6	2,1	5,3	12	28

Le point de vue du transport ou de la distribution d'énergie par les courants alternatifs est un peu différent et peut s'exprimer

ainsi : la perte dans les canalisations, qui est improductive, est proportionnelle à la résistance des conducteurs. Il en résulterait une infériorité sensible des courants alternatifs vis-à-vis des courants continus si on était obligé de prendre des conducteurs dont la section soit assez grande pour que leur résistance effective surpasse notablement leur résistance statique.

On a jusqu'ici évité cet écueil par l'emploi très abondant des transformateurs, qui permettent de créer en quelque sorte un nombre aussi grand que l'on veut de stations centrales secondaires et par conséquent de réduire beaucoup les sections des conducteurs employés. Toutefois il n'est pas impossible qu'on soit amené dans l'avenir, pour transporter de grandes puissances, à employer des conducteurs de grande section, malgré les hauts voltages dont on prend l'habitude. Dans ce cas, l'effet perturbateur que nous étudions pourrait se produire.

Remarquant que la densité de courant diminue de la périphérie au centre, lord Kelvin a proposé d'employer un conducteur creux, et, sans donner la formule de la résistance effective, il s'est borné à admettre qu'on en aurait une idée suffisante en prenant celle du conducteur annulaire correspondant qui serait isolé par la pensée dans un conducteur plein de même diamètre extérieur.

Il convient dès lors d'examiner si le conducteur creux remplit bien le but annoncé et de rechercher quelles sont les valeurs de la résistance et de la self-inductance effectives.

IX. Considérons donc un conducteur creux dont les rayons extérieur et intérieur sont a et b.

Nous constatons facilement que l'intégration adoptée pour le conducteur plein ne convient plus, en raison de la discontinuité de la surface interne.

Pour ne pas être entravé par cette discontinuité, nous allons étudier la valeur de l'intégrale

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin s\zeta}{\zeta}\, d\zeta.$$

Supposons d'abord $s>0$.

L'intégrale est évidemment finie, car $\frac{\sin s\zeta}{\zeta}$ reste fini lorsque ζ tend vers o.

Considérons l'intégrale

$$\int \frac{e^{si\zeta}}{\zeta}\, d\zeta,$$

le long du contour ABCDEA (fig. 3).

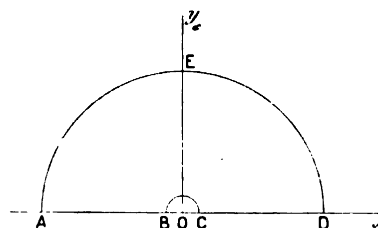


Fig. 3.

La fonction monodrome $\frac{e^{si\zeta}}{\zeta} d\zeta$ n'ayant pas de pôle dans le contour, l'intégrale est nulle. On a donc, en désignant par ε le rayon du demi-cercle BC et en supposant que le rayon du grand cercle AED augmente indéfiniment,

$$\int_{-\infty}^{-\varepsilon} + \int_{C} + \int_{+\varepsilon}^{+\infty} + \int_{DEA} = 0.$$

Or,

$$\int_{DEA} = 0,$$

car la fonction

$$\zeta \frac{e^{si\zeta}}{\zeta} = e^{si\zeta},$$

tend vers o quand ζ croît indéfiniment. On a en effet sur ce demi-grand cercle

$$\zeta = R(\cos\varphi + i\sin\varphi),$$
$$e^{si\zeta} = e^{siR\cos\varphi}\, e^{-sR\sin\varphi}.$$

Le module du premier terme est l'unité; le module du second tend vers o quand R augmente puisque s, R et sin φ sont positifs.

Quant à $\int_{BC}$ on le calcule aisément. On a sur le petit demi-cercle

$$\zeta = \varepsilon(\cos\varphi + i\sin\varphi),$$
$$d\zeta = \varepsilon i(\cos\varphi + i\sin\varphi)\, d\varphi,$$

et par suite :

$$\int_{BC} = \int_{\pi}^{0} e^{si\epsilon(\cos\varphi + i \sin\varphi)} id\varphi.$$

A la limite, pour $\epsilon = 0$, il reste :

$$\lim \int_{BC} = \int_{\pi}^{0} id\varphi = -i\pi.$$

On a donc :

$$\int_{-\infty}^{-\epsilon} + \int_{+\epsilon}^{+\infty} \frac{e^{siz}}{z} dz = \pi i,$$

ce qu'on peut écrire :

$$\int_{-\infty}^{-\epsilon} + \int_{+\epsilon}^{+\infty} \frac{\cos sz + i \sin sz}{z} dz = \pi i.$$

Égalant les parties imaginaires et faisant $\epsilon = 0$, il vient :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin sz}{z} dz = \pi.$$

Si nous supposons maintenant $s < 0$, il suffira de faire le même raisonnement en suivant le contour symétrique du précédent par rapport à l'axe des x.

On trouvera :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin sz}{z} dz = -\pi,$$

parce que, suivant le petit cercle symétrique de CC, l'intégrale serait :

$$\int_{\pi}^{2\pi} id\varphi = \pi i, \quad \text{au lieu de} \quad (-\pi i).$$

Si nous posons dès lors :

$$K = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin(r^2 - b^2)z}{dz} dz\right]. \qquad (52)$$

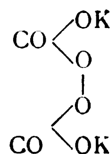
Nous voyons immédiatement que l'on a $K = 0$ pour toutes les valeurs de r inférieures à b et $K = 1$ pour toutes les valeurs de r supérieures à b et que K entrera comme une constante dans les équations pourvu que l'on ne fasse aucune différentiation pour la valeur critique $r = b$ et aucune intégration dans un intervalle comprenant cette valeur.

(*A suivre.*)

E. Brylinski,
Ingénieur des Télégraphes.

PRÉPARATION ET PROPRIÉTÉS DU PERCARBONATE DE POTASSE (1)

Théorie de la réaction. — Si l'on soumet à l'électrolyse une solution de carbonate de potasse K^2CO^3 on peut admettre, d'après la théorie de la dissociation électrolytique, que l'ionisation se fait suivant le schéma K | KCO^3. L'anion, formé par le radical monovalent KCO^3, se dirige vers l'anode et là, si les conditions convenables sont réunies, deux de ces radicaux peuvent se combiner pour donner la molécule $KCO^3 - CO^3K = K^2C^2O^6$, représentée en détail par le schéma



Préparation du sel. — L'électrolyse se fait dans deux vases cylindriques, entourés d'un mélange réfrigérant. Le vase central est poreux, il reçoit la cathode et une solution peu concentrée de carbonate. Le vase extérieur contient l'anode qui doit être en platine (le fer, le nickel, le cuivre et l'argent étant attaqués rapidement). Pendant l'électrolyse on introduit peu à peu, à l'aide d'un entonnoir à tige plongeant jusqu'au fond du compartiment anodique, une solution concentrée de carbonate de potasse. La lessive percar-

(1) D'après les travaux de E.-J. Constam et A. von Hansen, *Zeitsch. f. Elektrochemie*, t. III, p. 137 à 144 et A. von Hansen; *Ibid.*, p. 445 à 448 (1896-1897).

bonatique qui se forme (et où la majeure partie du nouveau sel se trouve en suspension) est plus légère que la solution du carbonate et peut être recueillie goutte à goutte au moyen d'un tube abducteur qui sort de la partie supérieure du vase anodique et qui traverse le mélange réfrigérant. On filtre par succion et on recueille un produit humide renfermant de 87 à 93 p. 100 de percarbonate. Rendement: 2,2 gr à 2,4 gr de sel solide par ampère-heure (le rendement théorique, s'il n'y avait pas de perte par dissolution et décomposition, s'élèverait à 3,69.)

On étale le produit sur des plaques de porcelaine poreuse et on le sèche ensuite dans un courant d'air sec. La dessication est plus rapide et meilleure que dans l'exsiccateur à acide sulfurique. Après être resté exposé pendant douze heures à l'action lente d'un courant d'air séché à l'acide sulfurique et au chlorure de calcium le corps renfermait à peine 0,6 à 0,8 p. 100 d'humidité. Vers la fin de l'opération on peut chauffer l'air jusqu'à 40°. Une température plus élevée décompose peu à peu le sel. Au bout d'une heure, à la température de 100° (dans le courant d'air) la teneur en percarbonate avait diminué de 6 p. 100, au bout de deux heures la diminution atteignit 16 p. 100.

CONDITIONS DE LA PRÉPARATION

Influence de la température. — Si au début de l'électrolyse la température est de — 15° et si la densité du liquide anodique est grande (1,55 à 1,56), de petites variations de température produisent peu d'effet. Quand la concentration du carbonate diminue (densité inférieure à 1,52), le rendement diminue à mesure que la température s'élève.

Influence de la concentration. — La concentration de la lessive anodique doit être aussi élevée que possible; si l'on emploie du carbonate de potasse *pur* la solution, saturée à la température ordinaire, reste liquide aux températures plus basses. Dès que la concentration diminue, il se forme moins de percarbonate solide, ce sel se dissolvant facilement dans les lessives plus étendues. Le précipité qui se produit alors est constitué principalement par du bicarbonate de potasse.

Influence de la densité du courant. — Une grande densité de courant semble favorable à un bon rendement. De 0,2 à 0,5 ampères par décimètre carré d'anode, la teneur du produit oscille entre 25 et 55 p. 100 de percarbonate (poids spécifique de la liqueur anodique 1,56, température — 10°); entre 30 et 60 ampères par décimètre carré, la teneur s'élève jusqu'à 85 et 95 p. 100.

De tout ce qui précède il résulte que pour avoir un bon rendement électrique et un produit aussi pur que possible, on doit maintenir une grande concentration de la liqueur anodique et employer une grande densité de courant, à une température d'environ — 10° à — 12°.

PROPRIÉTÉS DU PERCARBONATE DE POTASSE

Le percarbonate de potasse sec est une poudre amorphe légèrement teintée de bleu. Le sel humide est franchement bleu. Le produit maintenu bien sec ne semble pas s'altérer. Il est très hygroscopique et le sel humide perd peu à peu de l'oxygène; on doit donc le conserver dans des flacons bien bouchés, à l'abri de l'humidité.

Le percarbonate est un peu soluble dans l'alcool. Jusqu'à présent, on n'a pu le faire cristalliser dans l'eau. Si on le dissout à saturation à 0° et qu'on descende ensuite à — 15°, il se forme une cristallisation abondante composée en grande partie de glace et il reste une solution de percarbonate.

Par contre, il est possible de préparer de la façon suivante un corps presque pur. On introduit un excès du sel dans une solution assez concentrée de potasse caustique et on laisse digérer quelque temps entre — 5° et — 10°. Tout le bicarbonate du sel passe à l'état de carbonate qui se dissout et après filtration il reste un produit qui n'est plus

souillé que par de petites quantités de potasse caustique que l'on peut enlever par des lavages à l'alcool absolu. Le percarbonate titre alors de 95 à 99 p. 100.

Voici l'analyse d'un échantillon :

Percarbonate	$K^2C^2O^6$ . . .	95,68 p. 100
Bicarbonate	$KHCO^3$ . . .	3,84 »
Carbonate	K^2CO^3. . .	0,35 »
Humidité	H^2O . . .	0,10 »
		99,97 p. 100.

Le percarbonate chauffé entre 200° et 300° se détruit vite et totalement. Au sein de l'eau, il se décompose rapidement quand la température s'élève; il se forme du bicarbonate et de l'oxygène :



$$K^2C^2O^6 + H^2O = 2\ KHCO^3 + O.$$

On a là un moyen très commode pour préparer en peu de temps de l'oxygène pur dans les laboratoires. On jette le sel dans l'eau et en portant à 45° on obtient un courant très régulier de gaz. La réaction continue seule, sans qu'on ait besoin de chauffer, jusqu'à ce que tout l'oxygène soit dégagé. Pour empêcher un départ simultané de gaz carbonique, il suffit d'ajouter un peu de soude.

Le percarbonate entre en réaction avec une facilité remarquable en cédant son oxygène aux corps oxydables. Ajouté à froid à la solution d'iodure de potassium additionnée d'empois d'amidon, il met l'iode en liberté, la solution bleuit. Le sulfure de plomb est oxydé :



$$PbS + 4\ K^2C^2O^6 = PbSO^4 + 4\ K^2CO^3 + 4\ CO^2.$$

La solution d'indigo est décolorée. Le coton, la soie, la laine sont blanchis.

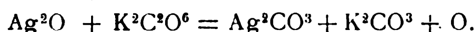
On peut l'employer comme oxydant au même titre que l'eau oxygénée et les peroxydes de baryum et de sodium. S'il a le désavantage de renfermer moins d'oxygène actif que ce dernier, il n'en possède pas non plus les propriétés caustiques ni la tendance à détoner au contact de l'eau. Comme l'eau oxygénée, il joue le rôle de réducteur vis-à-vis les peroxydes du manganèse, du plomb et vis-à-vis l'oxyde d'argent, avec dégagement simultané d'oxygène :



$$MnO^2 + K^2C^2O^6 = MnCO^3 + K^2CO^3 + O^2$$

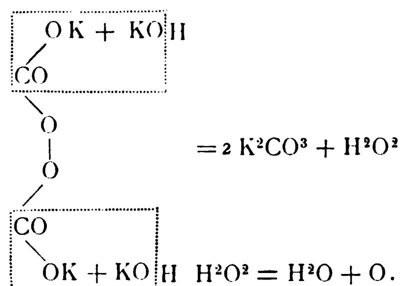


$$PbO^2 + K^2C^2O^6 = PbCO^3 + K^2CO^3 + O^2$$



$$Ag^2O + K^2C^2O^6 = Ag^2CO^3 + K^2CO^3 + O.$$

Dans les solutions *étendues* de potasse, le percarbonate se convertit, même à basse température (— 2°), en carbonate et eau oxygénée, laquelle se détruit dans le milieu alcalin en dégageant de l'oxygène :



L'acide sulfurique étendu décompose le percarbonate, à froid, en eau oxygénée, acide carbonique et sulfate de potasse :



$$K^2C^2O^6 + H^2SO^4 = K^2SO^4 + 2\ CO^2 + H^2O^2$$

En présence d'un excès d'acide, la solution se conserve bien. C'est là un procédé commode pour se procurer très vite une solution d'eau oxygénée.

Cette dernière propriété permet de déterminer rapidement la quantité d'oxygène actif et partant la teneur en percarbonate pur. Il suffit de dissoudre le sel dans un excès d'acide sulfurique étendu et de doser l'eau oxygénée au moyen du permanganate.

L'analyse *complète* du sel a été effectuée en poids par une véritable combustion organique en nacelle qui fournit le poids du gaz carbonique et de la vapeur d'eau dégagés, ainsi que celui du carbonate neutre resté dans la nacelle. Avec ces données, on peut calculer les quantités respectives de percarbonate, bicarbonate, carbonate neutre et humidité. Comme contrôle, le poids de l'oxygène actif, calculé d'après celui du percarbonate pur, doit être égal à celui que donne une

expérience directe en volume — décomposition du sel par une solution étendue de potasse à l'ébullition, mesure du volume gazeux dégagé, absorption de l'excès de gaz carbonique par la potasse, puis de l'oxygène par l'acide pyrogallique.

M. A. von Hansen n'a pas réussi jusqu'à présent à préparer les sels de sodium et d'ammonium de l'acide percarbonique.

La fabrication du percarbonate de potasse a été brevetée sous la rubrique : *Procédé de préparation électrolytique des sels de l'acide percarbonique*, d'après E.-J. Constam, A. von Hansen et « Aluminium-Industrie Actien Gesellschaft. » Brevet allemand, n° 91 612 (1).

P.-Th. Muller.

Maître de conférences à l'Institut chimique de Nancy.

SUR LE DÉCALAGE DE PHASE PRODUIT PAR UN POLARISEUR

PARCOURU PAR UN COURANT ALTERNATIF (2)

Recherches expérimentales.

12. Bien que la théorie de l'électrolyse par courants alternatifs soit irréfutable, et les considérations précédentes très simples, j'ai pensé qu'il ne serait pas inutile de vérifier expérimentalement à la fois la forme de la courbe périodique de la polarisation d'un voltamètre et l'importance du décalage de phase.

13. La méthode que j'ai suivie est celle bien connue de M. Joubert pour la construction directe des courbes périodiques.

Le courant fourni par un petit alternateur E (fig. 4) traverse un polariseur V et une résistance R sans induction.

Aux bornes de ces deux appareils sont prises deux dérivations qui aboutissent chacune aux deux godets extrêmes d'un commutateur à balance dont les godets centraux sont en communication permanente avec un circuit comprenant un galvanomètre G, une boîte de résistance R_1 et le commutateur tournant.

Ce dernier se compose d'un disque de bois fixé sur l'arbre de la dynamo et portant un anneau *a* de cuivre qui le recouvre sur toute sa circonférence mais seulement sur une moitié de sa hauteur. L'autre moitié est traversée parallèlement à l'axe par une pièce *b* formée d'un fil de cuivre soudé à l'anneau. Deux balais frottent, l'un A sur l'anneau de cuivre, l'autre B sur la partie non recouverte, de façon à ce que le circuit du galvanomètre soit fermé toutes les fois que le balai B rencontre la pièce *b*, c'est-à-dire une fois par tour.

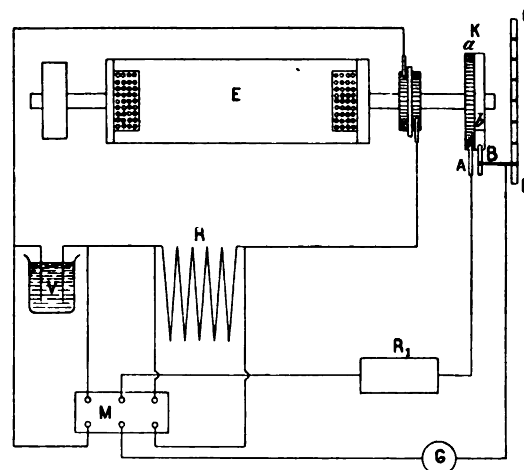


Fig. 4. — Schéma du dispositif expérimental.

Le balai B est porté par un disque fixe concentrique à l'axe de la dynamo et peut tourner autour de ce disque de façon à ce que la fermeture des circuits dérivés ait lieu

(1) Voir *Moniteur scientif.*, 1897, Brevets, p. 32 ; — et pour plus de détails, *Zeitsch. f. angew. Chemie*, 1897, p. 255.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 13 ; 26 juin 1897.

à un des instants déterminés de la période. A chaque position du balai *b* correspond une déviation du galvanomètre pour chacun des deux circuits dérivés, déviation qui donne la valeur du courant et de la tension instantanés à un moment déterminé de la période. On a pu constater lorsque la déviation n'était pas fixe que la valeur moyenne pour chaque position du balai B coïncidait bien avec la valeur qu'elle avait lorsquelle était fixée pendant quelques instants, aussi les lectures ont été prises tantôt en attendant que la déviation soit fixe, tantôt en prenant la moyenne des oscillations ; ce dernier mode d'opérer a surtout servi pour les déviations non voisines de l'amplitude maxima.

Le nombre de lectures par période était seulement de huit, ce qui permettait d'opérer assez rapidement.

14. Le moteur de petite puissance qui conduisait la dynamo était à air chaud, du type Lehmann et alimenté par un bec Flechner.

La dynamo du type Siemens à navette était excitée par une pile Daniell ou par un accumulateur.

La résistance du circuit extérieur au polariseur était formée d'un rhéostat sans induction R_1 de 5,4 ohms de résistance.

L'emploi de plusieurs voltamètres en série ne changeant évidemment rien au décalage, on a employé un seul de ces appareils qui a pour avantage d'éliminer la différence de surface des électrodes, différence qui peut influer notablement sur la valeur de la polarisation.

Ce polariseur était formé d'un tube en verre contenant de l'eau acidulée dans la proportion de 1 à 500 ou 1 à 18 et dont le couvercle laissait passer deux fils portant les électrodes disposées parallèlement et non complètement immergées. La surface totale de chaque électrode était de $3{,}8 \times 2{,}9$ cm². Dans le cas de la décomposition de l'électrolyte, les électrodes étaient constituées par des fils de platine de 0,4 mm d'épaisseur et de 4 cm de longueur. Ces dimensions ont toujours été maintenues.

Le galvanomètre avec sa boîte de résistance avait une résistance de 1 049 ohms de façon à ce qu'une déviation de 1 cm corresponde à une différence de potentiel égale à 0,071 volt.

15. Une première série d'expériences a d'abord été faite en vue de rechercher le degré de précision de la méthode. La figure 5 reproduit les courbes obtenues par la différence de potentiel aux bornes de deux résistances sans self-induction placées en série et de résistances égales à 5,4 et 2,9 ohms respectivement, on voit que les zéros coïncident très sensiblement et que les ordonnées sont bien proportionnelles.

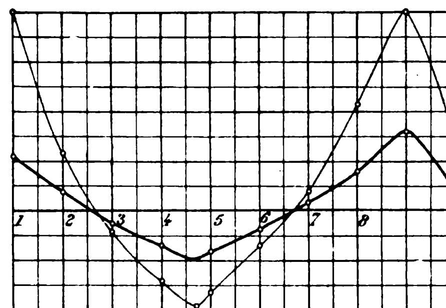


Fig. 5. — Différences de potentiel aux bornes de deux résistances sans induction disposées en série.

En second lieu j'ai déterminé les courbes des différences de potentiel aux bornes du rhéostat sans induction, que j'ai conservé dans toutes les expériences suivantes, et aux bornes d'une petite bobine de réaction en série avec celui-ci, et munie d'un noyau feuil-

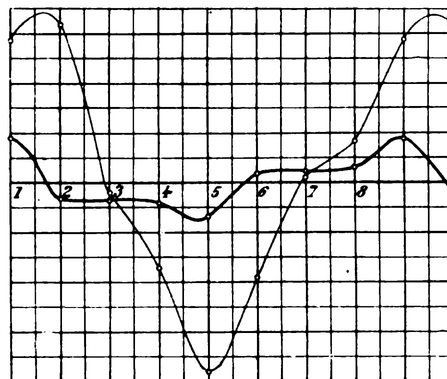


Fig. 6. — Courbes de la tension aux bornes d'une résistance sans induction et d'un circuit inductif à fer.

leté. Ces résultats sont portés sur la figure 6.

Il est bon de remarquer, pour se faire une idée de la précision des mesures, que le disque fixe CD portant le balai B était muni de divisions égales, 8 d'un côté, 16 de l'autre, et qui venaient successivement en face d'un repère. Ce sont ces divisions qui sont portées sur les diagrammes.

Le balai B reprenait donc les mêmes positions par rapport à l'induit à chaque expérience et par suite par rapport à la force électromotrice induite dans l'alternateur. Dans la figure 5 les zéros sont aux divisions 2,6 et 6,6 de l'axe des temps ; sur la figure 6 les zéros de la différence de potentiel aux bornes du rhéostat, laquelle est sympathique avec la tension résultante sont aux divisions 3 et 7. La présence d'une self-induction décale donc en avant, non seulement la différence de potentiel aux bornes sur la tension résultante, mais aussi sur la force électromotrice induite, tandis que la première est en retard sur la seconde conformément à la théorie.

16. Les expériences sur le voltamètre sans dégagement de produits électrolytiques, sont représentées sur les figures 7 à 10.

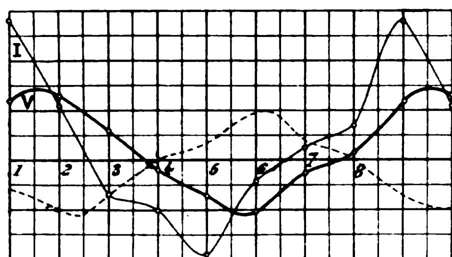


Fig. 7. — Courbes périodiques expérimentales correspondant au cas où il n'y a pas électrolyse ; électrodes éloignées; V, tension aux bornes; I, courant.

Dans le cas de la figure 7 les électrodes ($2,9 \times 3,8$ cm²) étaient distantes de 21 cm et la dissolution contenait un dix-huitième d'acide sulfurique. Le décalage est de $\frac{12}{40}$ de demi-période ou 54°.

La figure 8 correspond au même cas, mais les plaques ont été rapprochées à 2,1 cm, l'avance de phase est de 58° 1/2.

En substituant au liquide une dissolution au $\frac{1}{500}$ seulement, on obtient avec la distance

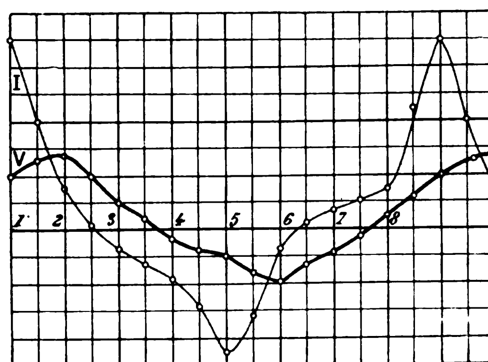


Fig. 8. — Courbes périodiques expérimentales correspondant au cas où il n'y a pas électrolyse; électrodes voisines.

de 2,1 centimètres les courbes de la figure 9, et avec l'écartement de 21 centimètres celles

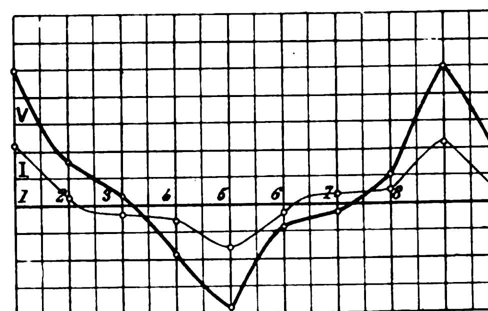


Fig. 9. — Mêmes courbes avec un électrolyte peu conducteur; électrodes éloignées.

de la figure 10. Le décalage est de 49° 1/2 dans le premier cas et 27° dans le second.

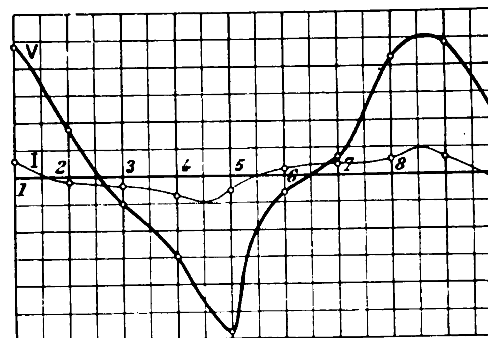


Fig. 10. — Mêmes courbes avec un électrolyte peu conducteur ; électrodes voisines.

On voit que lorsqu'on laisse fixe la capacité

en changeant simplement la résistance du circuit les zéros de l'intensité sont toujours en avance, sur ceux de la différence de potentiel aux bornes de l'alternateur et qui sont aux divisions 2,6 et 6,6. (fig. 5).

D'après la formule :

$$\text{tang}\,\gamma'' = \frac{1}{Cr},$$

le décalage devrait augmenter, toutes choses égales d'ailleurs, avec la diminution de r. S'il n'en est pas ainsi sur les figures cela tient à ce qu'il était difficile de maintenir la vitesse du moteur constante d'une expérience à l'autre.

On remarquera également que plus les décalages sont grands, plus les maxima du courant sont petits, ce qui est bien conforme à la théorie puisque d'après (6) ces maxima ont pour valeur $\frac{E \cos \gamma''}{r}$. La concordance des maxima $\frac{E \sin \gamma''}{\sin \gamma''}$ de la tension aux bornes du polariseur est également vérifiée.

Enfin les retards de phase de la tension aux bornes du voltamètre sur le courant satisfont bien à la relation donnant la valeur de tang γ''_1, car alors les variations de vitesse sont moins sensibles vis-à-vis des variations de la résistance intérieure r_3.

17. Il me reste à examiner si, comme je l'ai établi théoriquement plus haut, on peut constater un décalage de phase notable lorsque le phénomène est accompagné d'une mise en liberté des produits de l'électrolyse.

Avec les moyens que j'avais à ma disposition j'ai dû employer comme électrodes des fils de façon à avoir une capacité très faible, la longueur immergée fut très variable mais la distance fut maintenue égale à 1,3. La dissolution d'acide était au cinquième.

Je donnerai seulement parmi les résultats que j'ai obtenus ceux qui se rapportent à deux expériences (fig. 11 et 12) où la longueur immergée était de 1,5 et 2,2 cm respectivement. L'intensité du courant a été considérablement augmentée, mais les dégagements de gaz aux électrodes étaient très abondants.

Les maxima des différences de potentiel aux bornes du voltamètre dans les deux cas, lesquelles sont un peu différentes sur les courbes dans les deux cas, dépendent non seulement de l'intensité du courant, mais encore de la résistance du polariseur et du décalage de la force électromotrice de polarisation par rapport au courant.

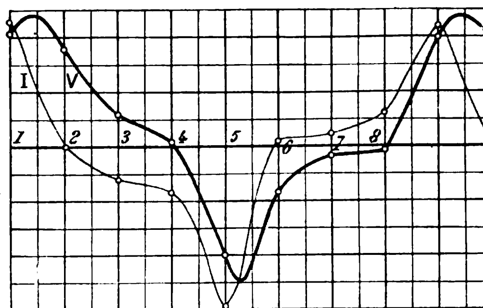


Fig. 11. — Courbes périodiques expérimentales dans le cas où il y a dégagement de produits électrolytiques ; grande densité de courant.

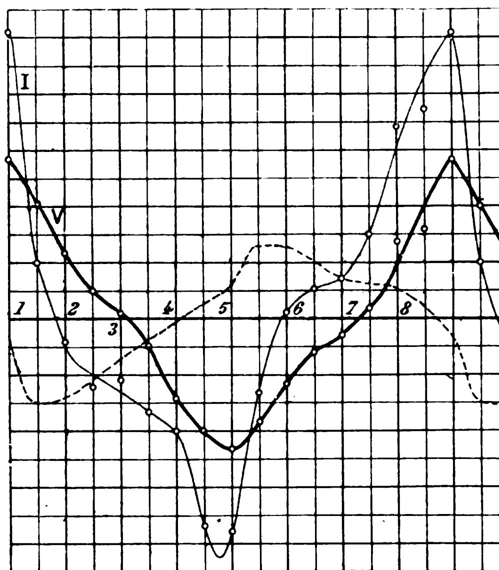


Fig. 12. — Mêmes courbes avec faible densité de courant.

La différence de phase entre le courant et la tension aux bornes du voltamètre atteint les valeurs de 58° 1/2 et de 90° et la plus grande correspond bien comme l'indique la théorie au cas où I_p est le plus faible.

Le décalage γ'' n'a plus aucune signification ici puisque la polarisation du voltamètre ...

n'est plus en quadrature avec le courant. Les maxima de celle-ci sont maintenant indépendants de ceux de l'intensité.

On peut donc affirmer qu'une différence de phase importante entre la différence de potentiel aux bornes d'un voltamètre et le courant alternatif qui le traverse peut exister non seulement dans le cas indiqué par M. Dolivo-Dobrowolsky, c'est-à-dire où il n'y a pas de produits libérés, mais aussi dans le cas où les produits de l'électrolyse peuvent se dégager. J'ajouterai que les plus grandes différences de phase ont été constatées dans ce dernier cas.

Lorsque les maxima de $I\rho \sin \omega t$ sont très grands, ce qui se produisit sans doute dans le cas envisagé par M. Peukert, le décalage peut devenir assez petit pour ne pouvoir être constaté par la méthode employée. Sa détermination ne peut avoir lieu que par une autre méthode, comme celle employée par M. Mengarini dont les travaux acquièrent ainsi une nouvelle importance.

18. Les expériences précédentes constituent aussi, comme je l'ai dit, une vérification de ma théorie sur l'électrolyse par courants alternatifs.

J'ai en effet donné dans cette théorie la courbe périodique de la polarisation du voltamètre dans les deux cas qui se présentent, c'est-à-dire avec ou sans dégagement de produits libérés. Ces courbes, comme je l'ai dit, ne peuvent s'obtenir par la formule de Kohlrausch dont la valeur est limitée aux faibles polarisations; leur détermination directe n'a pas été faite jusqu'ici et ne pourrait être faite sans grandes difficultés.

Les expériences précédentes permettent d'y arriver indirectement en se servant de la formule donnée au paragraphe 8 :

$$p = Ir - V.$$

La courbe I sera facilement transformée en ampères si l'on remarque qu'elle représente la différence de potentiel aux bornes d'un rhéostat sans induit de 5,4 ohms.

La valeur de la résistance intérieure a été obtenue à l'aide du pont de Kohlrausch [1] en changeant la valeur de la résistance de comparaison de façon à déterminer les valeurs limites entre lesquelles la résistance est comprise.

Les résistances obtenues ont été pour le cas de la figure 7, de 1,2 ohm, et pour celui de la figure 12, de 3,1 ohms.

On obtient ainsi pour les valeurs de la polarisation :

Cas de la fig. 7.		Cas de la figure 12.			
1	— 0,6	1	— 0,3	5	+ 0,5
2	— 1	1,5	— 1,4	5,5	+ 1,3
3	— 0,8	2	— 1,3	6	+ 1,3
4	— 0,1	2,5	— 1,2	6,5	+ 1,0
5	+ 0,3	3	— 0,7	7	+ 0,7
6	+ 0,9	3,5	— 0,5	7,5	+ 0,7
7	+ 0,3	4	0	8	+ 0,5
8	+ 0,1	4,5	+ 0,2	8,5	0,3

Les courbes pointillées des figures 7 et 12 représentent ces valeurs. Les courbes obtenues dans les autres expériences ont des formes semblable.

Sur la figure 7 correspondant au cas où il n'y a pas de dégagements électrolytiques, on voit que la polarisation est en quadrature avec l'intensité du courant comme je l'avais démontré [1]. Le décalage serait différent d'un quart d'onde si la courbe de l'intensité n'était pas symétrique par rapport à ses ordonnées maxima, dans ce cas les zéros x seraient déterminés par la relation

$$\int_0^x i dt = \frac{1}{2} \int_0 I dt,$$

puisque la polarisation dépend de la quantité d'électricité.

Dans le cas où les produits sont mis en liberté, la figure 12 montre bien que la courbe

(1) Éric. GERARD. *Leçons sur l'Électricité*, t. I, p. 307 (4e édition).

(2) *Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 451 et 610.

de la polarisation a une partie horizontale qui correspond à l'intervalle de temps pendant lequel les produits se dégagent. Les zéros de la polarisation ont une avance sur le courant dépendant de la forme particulière de celui-ci.

On remarquera que les durées de dégagements pendant deux demi-périodes successives ne sont pas toujours égales. Ce résultat, qui paraît tout d'abord paradoxal, n'infirme en réalité ni la loi fondamentale de l'induction ni celle de Faraday sur l'électrolyse ordinaire. On peut même, du reste, expliquer ce fait à l'aide de cette dernière loi. En effet, pour que les produits dégagés soient égaux dans les deux demi-périodes successives, il faudrait qu'on ait :

$$\int_0^T \mathrm{I}dt = \int_T^{2T} idt.$$

D'autre part, la même quantité d'électricité qui sature les électrodes est tant dans un sens que dans l'autre donnée par

$$2q_0 = \int_0^{\tau} idt.$$

La forme particulière de I peut offrir deux valeurs différentes pour τ' suivant que l'on parte de zéro ou de T ; mais aux valeurs

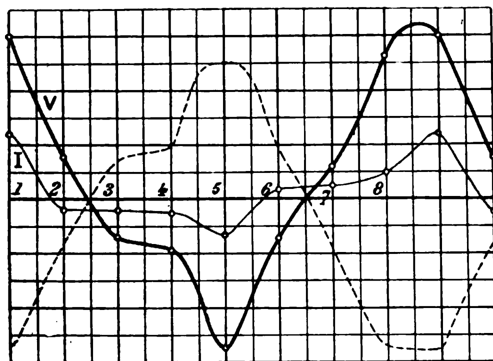


Fig. 13 — Courbes périodiques expérimentales pour un voltamètre à électrodes d'aluminium, avec dégagement de produits électrolytiques.

maxima de l'intervalle restant correspondent toujours les valeurs minima de l'intensité du courant. Durant le développement électrolytique on a donc toujours la même quantité d'électricité et, par suite, dans les deux demi-périodes, la même quantité de produits dégagés.

19. J'ai opéré également avec un polariseur à électrodes d'aluminium et à dissolution d'acide sulfurique, lequel m'a donné des polarisations plus grandes (fig. 13). La résistance de l'appareil était de 1 ohm, la surface active des électrodes 12 cm² et leur distance 1,6 cm. En excitant la dynamo comme pour l'expérience reproduite sur la figure 12, j'ai obtenu pour les amplitudes maxima de l'intensité des valeurs plus petites qu'avec le platine, ce qui indique une plus grande force électromotrice de polarisation [1].

Comme les dégagements gazeux étaient aussi très abondants, on peut en conclure que la quantité d'électricité nécessaire pour saturer les électrodes était très petite dans ce cas.

Les zéros de la polarisation sont assez rapprochés de ceux du courant, et comme ceux de la tension aux bornes du voltamètre sont compris dans l'intervalle τ' qui sépare les deux premiers, il en résultera que les décalages entre les deux courbes seront, du moins en général, beaucoup plus faibles que ceux obtenus avec des électrodes en platine.

Conclusions.

20. En résumé on peut dire d'après ce qui précède :

I. Qu'il existe réellement une différence de phase entre l'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes d'un polariseur comme l'avait établi autrefois M. Mengarini.

II. Que les expériences contradictoires de M. Peukert ne sont nullement concluantes, les conditions particulières dans lesquelles s'était placé ce savant rendant le phénomène inappréciable. En appliquant la même méthode mais en se plaçant dans des conditions plus convenables et que la théorie indique, j'ai pu obtenir des décalages et les mesurer.

[1] OBERBECK. *Wied. Ann.* t. XXI, 1884.

III. Que quelques-unes des considérations de M. Dolivo Dobrowolsky étaient inexactes théoriquement et leur rectification a pu être mise en lumière par les expériences ci-dessus.

IV. Que la théorie sur l'électrolyse par courants alternatifs que j'ai publiée en 1892 et laquelle a servi à expliquer les lois obtenues expérimentalement par MM. Maneuvrier et Chappuis et par M. Mengarini, se trouve confirmée par les expériences actuelles, au point de vue des variations de la force contre-électromotrice de polarisation, confirmation expérimentale qui n'avait pas été faite jusqu'ici.

Dr Riccardo Malagoli,
Professeur au physique à l'Institut Jacopo Barozzi
Modène (Italie).

DÉTERMINATION DU NOMBRE DE SPIRES DES INDUCTEURS

D'UNE DYNAMO

Dans un laboratoire industriel, on a souvent à étudier des machines dont les constantes sont inconnues : il faut déterminer ces constantes, sans démonter la machine. Voici la méthode que j'emploie, au laboratoire de physique industrielle de l'Université de Lille, pour déterminer le nombre de spires des inducteurs d'une dynamo.

Soit une machine à courant continu à flux symétrique (type Manchester). On sépare les fils des deux bobines des inducteurs, on fait passer dans l'une A un courant provenant d'une batterie d'accumulateurs, ce courant développe une force magnétomotrice et la deuxième bobine B est traversée par un certain flux. Afin de diminuer le plus possible les pertes de flux, on cale l'arbre de la machine et on remplit l'entrefer avec des plaques de tôle, qu'on y introduit avec précaution sans détériorer l'induit. Autour de la seconde bobine B, on enroule, *uniformément*, un fil fin, on relie les deux extrémités de cet enroulement aux deux extrémités de la bobine B et on intercale un balistique dans le circuit ainsi formé. Si les deux enroulements sont faits en sens inverse et comprennent le même nombre de spires, le galvanomètre reste au zéro, quand on ouvre et quand on ferme le circuit de la bobine A.

On peut remarquer que l'hystérésis des noyaux n'intervient pas. La sensibilité de la méthode est d'ailleurs très grande.

Il faut diminuer le plus possible les pertes de flux, enrouler uniformément les spires supplémentaires et employer un fil fin pour diminuer l'épaisseur de l'enroulement; dans ces conditions, les spires des deux enroulements opposés, situées dans un même plan perpendiculaire à l'axe des noyaux sont traversées par un même flux. L'approximation des résultats ne dépend que des précautions prises pour diminuer les pertes de flux, ou plus exactement pour faire porter ces pertes également sur les deux enroulements.

On peut d'ailleurs vérifier facilement l'exactitude de cette méthode avec l'appareil d'Hopkinson destiné à la mesure de la perméabilité du fer. On supprime l'une des bobines entourant l'éprouvette, l'autre joue le rôle de la bobine A, elle développe la force magnétomotrice. On place à la suite de la bobine A, autour de l'éprouvette, la bobine à étudier B; il est facile de construire une bobine B, présentant par rapport au diamètre de l'éprouvette la même épaisseur relative d'enroulement que l'on rencontre dans les dynamos pour l'enroulement du circuit inducteur sur les noyaux. Citons un exemple :

Courant dans A : 20 ampères;

Nombre de tours de A : 600;

Nombre de tours de B trouvés 100 (en ajoutant, ou en retranchant une spire à l'enroulement supplémentaire, le galvanomètre déviait à droite ou à gauche). Le nombre de spires de la bobine B était exactement 100.

Pour les machines en série, l'enroulement supplémentaire est vite fait.

Pour les machines en dérivation, il est plus long. On peut se dispenser d'ailleurs d'enrouler sur la bobine B un nombre de spires égal à celui de B, mais alors, la méthode devient plus compliquée; elle exige deux balistiques et deux opérateurs faisant deux lectures simultanées.

La bobine dont on veut déterminer l'enroulement est fermée sur un premier balistique de constante K.

L'enroulement supplémentaire est fermé sur un deuxième balistique de constante K'.

R et R' désignant les résistances des deux circuits ainsi formés, x et n désignant les nombres de spires de la bobine B et de l'enroulement supplémentaire, α et α' désignant les déviations des deux balistiques, quand on détruit le flux qui traverse les deux enroulements, on a :

$$\frac{K}{K'}\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{x}{n}\frac{R'}{R}$$

relation qui fait connaître le nombre de spires x.

C. Camichel,

Maître de conférences à la Faculté de Lille.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Accumulateurs Pollak [1].

La masse poreuse de ces accumulateurs est constituée par du plomb finement pulvérisé dans lequel on a coulé du plomb dans des conditions spéciales qui en assurent le mélange homogène tout en donnant une très grande porosité.

Les moules, servant à la préparation des plaques, de différentes constitutions, représentées par les figures 1 à 4, sont d'abord placés, vides, sur un socle creux communiquant avec une pompe pneumatique. Le support ou âme en plomb, dont la forme peut être variée suivant l'usage auquel les plaques sont destinées, est introduit dans le moule; les espaces vides sont comblés avec de la poudre de plomb mélangée avec une faible quantité de sel marin. On chauffe ensuite le moule jusqu'au point de fusion du plomb. La pompe à air, mise dès ce moment en fonction, fait le vide à l'intérieur et force le métal liquide à traverser la masse pulvérisée. On continue l'opération en remplissant au

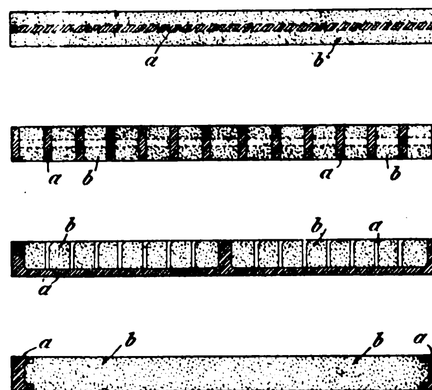


Fig. 1 à 4. — Plaques d'accumulateurs Pollak.

fur et à mesure avec du plomb fondu et l'on n'arrête que lorsque le métal liquide apparaît sous le socle. Le moule est ensuite soumis à une pression énergique jusqu'à la solidification complète de la masse. Les plaques ainsi obtenues, sont mises dans l'eau; le sel qu'elles retiennent se dissout en laissant une

(1) Brevet anglais n° 13520 présenté le 18 juin 1896, délivré le 16 janvier 1897, 4 figures.

multitude de petites cavités qui augmentent considérablement la porosité du métal. Il n'y a plus ensuite qu'à les former suivant les procédés ordinaires. L. D.

Fabrication d'électrodes solubles pour accumulateurs, procédé W. P. Thompson (1).

Un cylindre creux en cuivre E (fig. 1) servant de support, reçoit un dépôt galvanoplastique de cuivre qui lui donne une surface poreuse ; on l'amalgame ensuite de la manière suivante : le cylindre étant enfilé sur la projection centrale B d'un godet *r* contenant le mercure, on l'arrose avec ce métal jusqu'à ce que la surface extérieure en ait retenu une couche uniforme. Le métal soluble, zinc, cadmium ou autre est ensuite appliqué par voie galvanoplastique sur le support ainsi préparé.

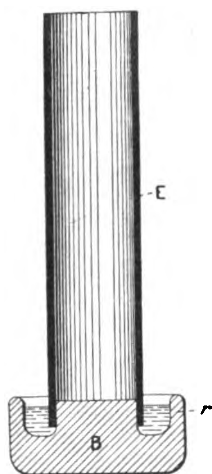


Fig. 1. — Électrode soluble, W.-P. Thomson.

D'après l'auteur, ce procédé aurait comme avantages : 1° d'éviter les actions locales et la formation des couples parasites auxquels donnent lieu les supports en plomb ; 2° de donner une plus grande résistance mécanique aux électrodes, et enfin : 3° d'augmenter l'adhérence du métal soluble au support par suite de l'amalgamation de ce dernier. L. D.

(1) Brevet anglais n° 7 259, présenté le 2 avril 1896, délivré le 23 janvier 1897, 1 figure.

Compteur-moteur à mercure Evershed et Vignoles (1).

Un cylindre creux A (fig. 1), en cuivre rouge, fermé à la partie inférieure, est porté par un axe vertical reposant dans des chapes en agate ; ce cylindre tourne dans le champ magnétique annulaire, formé par un aimant N, entre un cylindre de fer doux P et une pièce polaire concentrique R. Des garnitures isolantes CC et un chapeau en cuivre rouge B ferment complètement l'espace annulaire ; celui-ci est rempli de mercure et un réservoir additionnel est disposé pour permettre la dilatation.

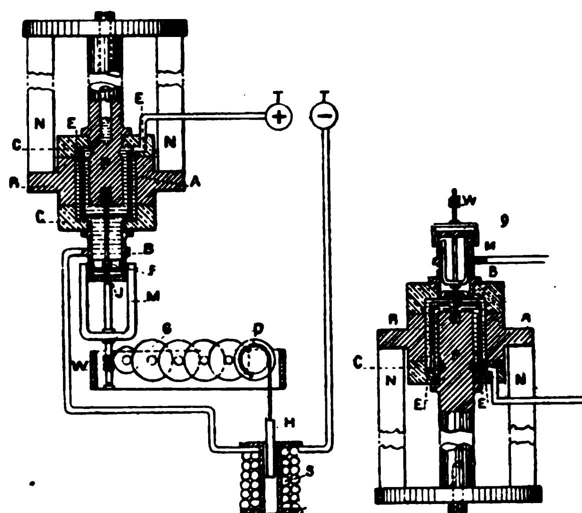


Fig. 1 et 2. — Compteur-moteur à mercure Evershed et Vignoles.

Le courant, amené par un conducteur E, à la partie supérieure, traverse le mercure et le cylindre de cuivre, principalement ce dernier à cause de sa conductibilité ; arrivé au chapeau B, il retourne à la borne T. L'action du courant sur le champ magnétique amène la rotation du cylindre A, la force étant proportionnelle à l'intensité du courant ; d'autre part, le frottement dans le mercure et les courants de Foucault développés dans le cylindre retardent le mouvement ; jusque-là rien de nouveau.

(1) Brevet anglais n° 7484 ; fév. 1897, 2 figures.

Pour éviter que les frottements du totalisateur G introduisent des perturbations, la force motrice est demandée au courant : un solénoïde S attire une tige H, laquelle est portée au bout d'une cordelette enroulée sur le tambour D; celui-ci entraîne le premier mobile du train d'engrenages.

La tige H peut être en fer doux ou en acier aimanté, elle peut aussi être composée de ces deux matières, de façon à donner une force attractive qui varie entre la première et la seconde puissance de I; le réglage est fait pour compenser autant que possible les frottements de tout le système.

La liaison entre le cylindre compteur A et le train totalisateur est faite, sans aucune pièce rigide, par le moyen de ce que les inventeurs appellent une *griffe magnétique*. L'axe du cylindre compteur porte, en F, une pièce de fer doux sur laquelle agit, extérieurement au chapeau B, un aimant en fer à cheval M, porté par le dernier mobile du train; celui-ci ne peut donc avancer que si le cylindre compteur avance lui-même.

Comme variante, les inventeurs indiquent de faire porter un aimant en fer à cheval M (fig. 2), au cylindre compteur et un second aimant Q au dernier mobile, de façon à augmenter la puissance de cette griffe magnétique. H. A.

Soudure des rails de tramways, système Falk.

La soudure des rails de tramways présente dans le cas des lignes exploitées par l'électricité des avantages incontestables au point de vue de la diminution des corrosions électrolytiques par les courants de retour. Mais quel que soit le système de traction employé elle offre encore l'avantage d'éviter le martelage des abouts de rails par le passage des voitures d'un rail à l'autre et, par suite, l'usure rapide de la voie et du matériel roulant. Aussi de nombreux essais, au courant desquels les lecteurs de *L'Éclairage Électrique* ont été tenus, ont été faits, principalement en Amérique, dans ces dernières années.

Parmi les divers procédés préconisés pour souder les abouts de rails, le procédé Falk appliqué à Saint-Louis en 1894 [1] et à Lyon tout récemment [2], paraît donner les résultats les plus satisfaisants. Rappelons qu'il consiste à couler autour des extrémités des rails une masse de fonte qui maintient ces extrémités en parfait contact et fait de la voie un double ruban d'acier continu.

Le mode opératoire, qui a déjà reçu la sanction de nombreuses applications, est des plus simples :

Le matériel consiste en un cubilot monté sur un chariot spécial, portant en même temps un ventilateur mû par une machine à vapeur à grande vitesse et une chaudière.

Tout ce matériel peut être déplacé comme une locomobile à l'aide de chevaux.

Les rails sont d'abord bien nettoyés sur toute la surface qui doit venir en contact avec la fonte; des cales, introduites à force entre les abouts des rails, permettent de les ramener exactement de niveau et de les maintenir dans cette position. Un moule en fonte en deux pièces, épousant exactement la forme du rail et garni préalablement d'une couche d'huile de lin et de plombagine, est alors mis en place et maintenu par une pince spéciale. En certains cas, pour éviter le relèvement du joint sous l'action de la dilatation, au moment de la coulée, une forte presse est serrée sur le joint comme l'indique la figure 1.

Tous les joints du moule sont alors bouchés aussi hermétiquement que possible avec de la terre ou du sable bien tassé. Le métal, maintenu en fusion dans le cubilot à une température de 1400° C environ, est apporté dans une poche de fonderie, et coulé dans le moule en observant les précautions d'usage pour ce genre d'opération.

La fonte arrivant sur le rail, dont le métal est « à vif », à une température un peu supérieure à celle de la fusion de l'acier, détermine un ramollissement superficiel des rails.

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 175, 27 avril 1895.

[2] *Idem*. Supplément du 19 juin 1897, p. *LIII*.

Lors du refroidissement, et par suite du retrait qui se produit dans la masse de la

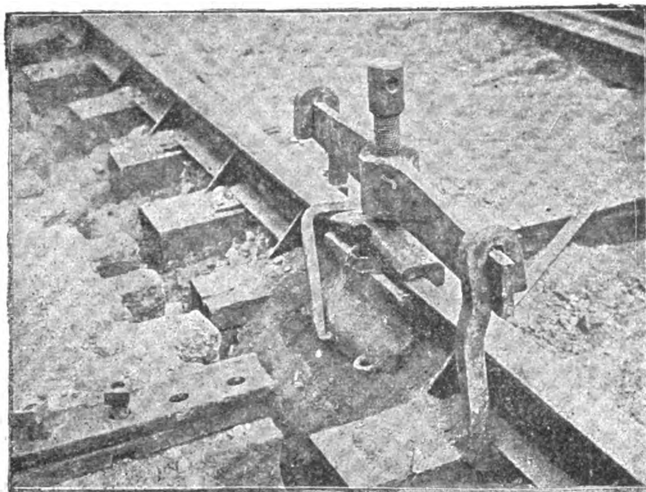


Fig. 1. — Joint prêt à être coulé.

fonte dont la partie centrale est encore à l'état liquide, tandis que l'extérieur a déjà fait prise, il se produit une pénétration partielle des deux métaux, et on obtient de la sorte une adhérence parfaite, comme on peut le vérifier

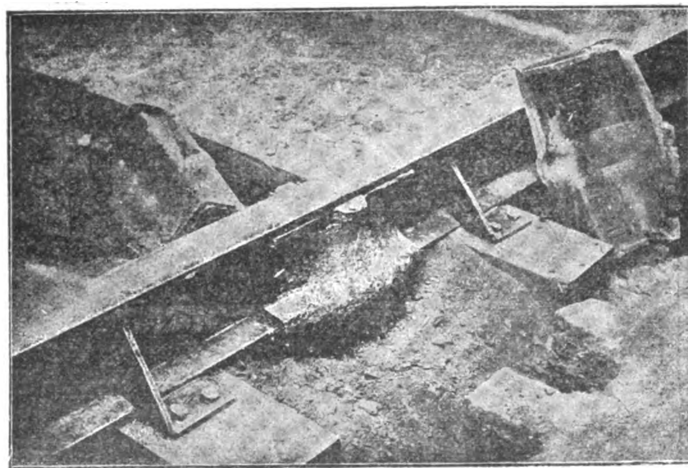


Fig. 2. — Joint après la coulée.

en sciant un joint dans le sens transversal. La figure 2 montre un joint après la coulée.

L'opération se fait très rapidement. Lorsque le travail est exécuté sur une ligne déjà en service, les joints sont nettoyés de jour, la coulée se fait de nuit. La mise en chauffe du cubilot ne demande guère plus de vingt minutes; il contient environ 3 000 kg de fonte; on le remplit complètement et tant que l'on a des joints à couler, on le maintient plein en y ajoutant alternativement, et dans des proportions déterminées, de la fonte, du combustible et de la castine. Il est facile de couler de 40 à 50 joints à l'heure; chacun de ces joints pèse de 60 à 80 kgr., suivant le type du rail; la longueur de chacun de ces joints est environ de 35 centimètres.

Les joints sont ensuite ébarbés et ramenés de niveau, soit au moyen de fortes limes, soit par une meule d'émeri mue électriquement.

Il est important de faire remarquer que, comme le montre la figure 3, la forme des moules est telle que la fonte liquide n'enveloppe le rail que depuis sa base jusqu'aux deux tiers environ de sa hauteur, ce qui est un grand avantage, car dans le cas où un joint est à refaire, le champignon reste complètement intact.

Les variations de température de l'atmosphère, en produisant une dilatation ou une contraction des rails, pourraient, comme on

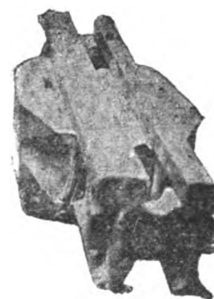


Fig. 3. — Joint Falk.

l'a craint au début, déformer la voie ou provoquer la rupture des joints.

Le premier inconvénient n'a jamais été constaté; quant au second il suffit de citer le cas suivant qui s'est présenté à Saint-Louis, dans l'état de Mississipi, en novembre 1894,

pour montrer qu'il n'a pas d'importance.

La température moyenne durant l'opération de la fonte des joints était de 10°,5 C., avec des limites extrêmes, à certaines heures, de + 29° C. et — 8° C. Or, sur 744 joints fondus, on a observé, pendant l'hiver, trois ruptures seulement, soit 0,43 p. 100. Il a été constaté que durant cet hiver la température est tombée au-dessous de — 25° C, tandis que, l'été suivant, elle s'est élevée à l'ombre à + 35° C.

L'économie résultant de l'emploi du rail continu est facile à établir.

Une statistique établie aux États-Unis a montré que, pour produire une usure de 6 mm sur un rail continu, ce qui est le maximum admissible, il fallait le passage de 3 millions de voitures, correspondant environ à un service de 16 heures par jour, avec départs toutes les 4 minutes, pendant 39 années.

L'économie provenant du rail continu porte à la fois sur les frais de construction et sur l'entretien. En effet, comme le dit M. A. Moxham, un spécialiste américain, « le rail de 33 kgr serait parfaitement suffisant au point de vue de la rigidité, à la condition d'être supporté par un nombre suffisant de traverses; il satisferait à toutes les conditions du service électrique à grande vitesse. Tout le métal ajouté en sus est à porter au débit des mauvais joints ».

Il y a donc lieu, avec le nouveau joint, de remplacer les rails de 50 kgr au mètre (sur lesquels 7,500 kgr seulement peuvent être usés) par des rails de 33 kgr (dont on pourrait user 8 kgr). L'économie de ce chef s'élève à plus de 4 500 fr par kilomètre de voie simple, en estimant les rails à 150 fr la tonne.

Mais c'est surtout dans l'entretien que ressort l'économie.

Un rail du poids de 40 kgr au mètre, solidement établi, supporte le martelage pendant environ 5 années; à ce moment il faudra relever les joints ou adopter le joint fondu, si l'on ne veut pas ruiner le matériel roulant et s'exposer à un service absolument défectueux.

Après cette première période de 5 années, le relèvement des joints devient indispensable tous les 2 ans, quelquefois même tous les 18 mois — ce qui implique des frais d'entretien considérables, — puis après une durée de 15 années, il faut en général renouveler toute la voie.

Les chiffres qui suivent se rapportent à la dépense courante à faire sur 1 km de voie simple, à traction électrique, avec joints et éclisses ordinaires, — et cela pendant la période de 39 années que peut durer une voie du même type, établie avec le joint Falk, et dont le renouvellement ne sera nécessaire qu'après une usure uniforme de 6 mm.

Période.	Années.		Francs.
1re	5	Aucun entretien (si la voie a été sérieusement établie).	»
2e	5	Entretien annuel, par joint, 2 fr. 50 . . . 3 125 ; Fils de connexion . . 300	3 425
3e	5	Entretien annuel des joints, pendant 4 ans	2 500
		Divers remplacements	575
		Renouvellement des rails, après 15 ans	20 000
		Pose	3 000
		Pavage	4 000
		Connexions électriques	1 000
4e	5	Aucun entretien	»
5e	5	Comme ci-dessus (2e période).	3 425
6e	5	Entretien annuel des joints pendant 4 années	2 500
		Divers remplacements	575
		Renouvellement des rails, après 15 ans	20 000
		Pose	3 000
		Pavage	4 000
		Connexions	1 000
7e	5	Aucun entretien	»
	4	Suivantes, entretien des joints . . . 2 700 ; Fils de connexion . 240	2 940
	39		71 940
		A déduire :	
		Valeur du vieux matériel	15 000
			56 940

La presque totalité de ces frais est à écono-

miser par l'usage du joint Falk et on peut dire qu'on fait durer les rails 39 ans au lieu de 15 ans.

Le *Bulletin de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, auquel sont empruntés les renseignements précédents, ajoute que le procédé s'applique également à la réfection de voies anciennes. Plusieurs voies, qu'il devenait urgent de renouveler, ont été remises à neuf de cette manière. Dans ces cas on surélève les extrémités du rail d'une quantité égale à la dépression produite, qui varie de 1,5 à 3 mm. Une fois que les joints sont soudés, on les amène de niveau au moyen d'une meule d'émeri mue électriquement, de manière à avoir une surface de roulement absolument unie.

Il y a aujourd'hui aux Etats-Unis 89 410 joints fondus, système Falk, sur des lignes en exploitation, réparties comme suit :

	Compagnies	Joints
Ville de Saint-Louis	4	10 500
Milwauke	1	13 500
Chicago	2	39 700
Newark	1	2 000
Brooklyn.	1	4 500
Providence.	1	5 510
New-Haven	1	3 500
Minneapolis et Saint-Paul . . .	1	12 000
Memphis.	1	6 000
Washington	1	2 200
		80 410

Ce qui correspond à environ 5 000 km de voie simple. J. R.

Application des accumulateurs aux lignes de tramways de grande longueur;

Par Ch. Hewitt.

Dans une conférence sur les applications générales des accumulateurs à la traction électrique, M. Hewitt a donné des renseignements très intéressants sur une application faite dans le courant de l'année dernière, sur la ligne Chestnut Hill, dépendant du réseau de la Union Traction Company, de Philadelphie. En voici le résumé.

A la suite de la transformation de la ligne à chevaux de Pelham Depot, en une ligne à traction électrique, le trafic augmenta dans de telles proportions qu'il fallut mettre en service un nombre de voitures beaucoup plus considérable et qu'il devint profitable de prolonger la voie sur une grande longueur. Les câbles existants n'étaient plus suffisants pour assurer le service dans ces conditions; s'il avait fallu augmenter leur section et leur longueur, la dépense, sans compter les conduites en terre cuite, aurait été d'environ 1 375 000 fr; ce prix était prohibitif. Deux autres solutions furent étudiées.

1° Établir, vers l'extrémité de la ligne à alimenter, une petite usine génératrice spéciale;

2° Installer, au lieu de cette usine, une batterie d'accumulateurs de capacité convenable.

L'usine aurait dû avoir une puissance d'environ 750 kilowatts; elle aurait entraîné une dépense d'environ 425 000 francs pour l'achat du terrain, la construction des bâtiments et l'acquisition du matériel. De plus, les frais entraînés par l'exploitation d'une usine de cette puissance relativement faible auraient été assez élevés: environ 7,5 centimes le kilowatt-heure, sans compter les frais généraux, l'intérêt, l'amortissement, etc.

L'installation de la batterie, par contre, n'exigeait qu'un local peu important, son prix d'achat était faible et son exploitation n'entraînait qu'à des dépenses de main-d'œuvre et de matériaux très réduites. Ce fut donc cette solution qu'on adopta.

La batterie fut installée à Chestnut Hill, à environ 15 km de l'usine génératrice située dans Beach Street, à Philadelphie; elle se compose de 240 éléments à 13 plaques, type G de la Electric Storage Battery Company, de Philadelphie; elle peut fournir 500 ampères et 500 volts. Les frais de premier établissement, y compris le terrain, les bâtiments, la batterie et accessoires, furent de 125 000 fr; à ce chiffre il convient d'ajouter le prix d'un survolteur à l'usine de

Beach Street, soit 40 000 fr, ce qui porte à 165 000 fr les frais de premier établissement. L'économie réalisée sur les dépenses entraînées par l'usine génératrice est donc de 260 000 fr. Les dépenses afférentes à l'installation des nouveaux câbles et à la transformation des anciennes canalisations furent de 65 000 fr; elles auraient été les mêmes à peu près si l'on avait adopté la première solution.

Un câble (n° 4), long d'environ 20 km, part de l'usine génératrice et s'étend tout le long de la ligne de tramways; il est relié aux génératrices de l'usine avant le survolteur et est relié aussi à la station d'accumulateurs, la batterie étant montée en dérivation; c'est sur ce câble que sont faites toutes les prises de courant servant à alimenter les fils à trôlet; un autre câble (n° 3) part de l'usine de Beach Street où il est relié au même rail du tableau de distribution que le câble n° 4; le courant passant par ce câble traverse le survolteur et se rend ensuite directement à la station d'accumulateurs où il est relié, comme le câble n° 4, au rail commun; la batterie est montée en dérivation entre celui-ci et la terre: elle est munie des organes ordinaires de régulation.

En service normal, le courant passant par le câble n° 3 passe par le survolteur qui augmente son potentiel d'environ 150 volts (plus ou moins suivant les besoins) au-dessus du potentiel du rail auquel est relié le câble n° 4, c'est-à-dire d'une valeur á peu près égale à la chute de potentiel dans le câble n° 3. On peut donc régler la pression, à la station d'accumulateurs de telle façon que la batterie se charge ou se décharge continuellement suivant les variations de potentiel sur la ligne de tramways. La charge sur le câble n° 3 est ainsi rendue à peu près constante, ainsi que la pression au point où la batterie alimente le câble n° 4. Ce dernier est ainsi alimenté en deux points; d'abord à l'usine génératrice, au potentiel de 530 volts et à la station d'accumulateurs, au potentiel de 500 volts environ, ce qui permet d'assurer un service parfait. Quand la charge en ligne est faible, le courant du câble n° 3 se divise en deux parties, au rail de la station régulatrice: une partie alimente la ligne à trôlets, l'autre charge la batterie; lorsque la demande en ligne est élevée, la pression baisse un peu à la station régulatrice; tout le courant du câble n° 3 passe sur le câble n° 4 et, en outre, la batterie fournit l'excédent de puissance demandé. Lorsque le service est exceptionnellement chargé, on peut relier les câbles 3 et 4 à l'usine de Beach Street; on fait ainsi passer tout le courant par le survolteur, ce qui a pour effet d'augmenter la tension de distribution.

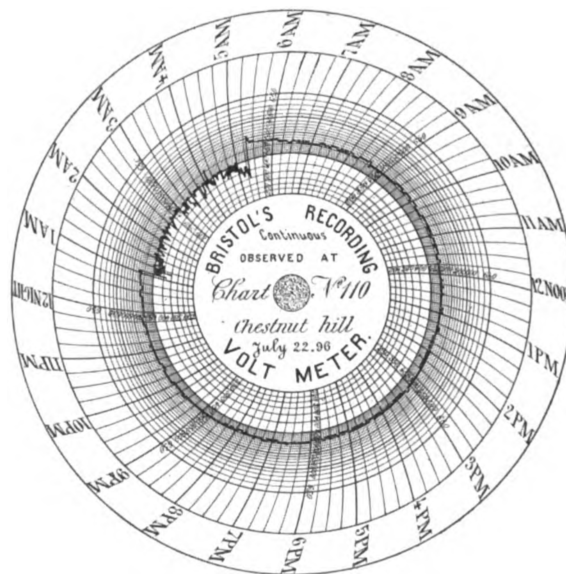


Fig. 1.

La figure 1, qui reproduit une courbe du voltmètre enregistreur à Chestnut Hill, fait ressortir les bons résultats obtenus par cette installation. De 5 heures du matin à 1 heure de la nuit, la batterie fut maintenue en circuit: la pression resta constante dans le voisinage de 500 volts; de 1 heure du matin à 5 heures du matin, la batterie fut au contraire mise hors circuit: la pression tomba immédiatement à 450 volts environ et subit des variations continuelles très importantes.

Quant aux dépenses d'exploitation, voici les renseignements donnés par M. Hewitt.

D'après les wattmètres enregistreurs placés aux stations de Beach Street et de Chestnut Hill, on voit que, pendant le mois d'octobre 1896, 136 576 919 watts-heure furent transmis sur le câble n° 3 et que 1 728 000 watts-heure furent perdus dans la batterie; 134 848 919 watts-heure furent donc fournis par la station régulatrice à la ligne ; ce chiffre représente la quantité d'énergie électrique qu'il aurait fallu engendrer dans l'usine supplémentaire. En réalité, on ne tient pas compte, dans ce raisonnement, de la quantité d'énergie engendrée par le survolteur (34 234 648 watts-heures) qui semblerait augmenter d'autant le débit de l'usine régulatrice, mais il n'y a pas lieu d'en tenir compte d'abord parce que cette énergie est en partie perdue en ligne sur le câble n° 3 et, ensuite, parce que, avec une usine génératrice, la pression serait plus élevée que celle de la batterie.

Nous avons vu plus haut que le prix de revient du kilowatt-heure dans la petite usine supplémentaire aurait été 7,5 centimes; d'autre part, à l'usine de Beach-Street, qui est exploitée beaucoup plus économiquement, les dépenses d'exploitation ont été de 3,5 centimes le kilowatt-heure, pendant le mois d'octobre 1896, non compris l'intérêt ni la dépréciation.

Les dépenses comparatives s'établissent donc comme suit :

USINE GÉNÉRATRICE SUPPLÉMENTAIRE

134 848,919 kws-h à 0,075 fr.	10 113,65 fr
Intérêt 5 p. 100 par an sur 425 000 fr.	1 770,85 »
Dépréciation » »	1 770,85 »
Assurance, impôts, etc.	1 000 »
Total	14 655,35 fr

STATION D'ACCUMULATEURS

Kw-h fournis au câble n° 3	136 576,919	
Kw-h engendrés par survolteur	34 234,648	
Total	170 811,567 à 0,035 =	5978,40 fr
Main-d'œuvre et matières premières à la station régulatrice		898,65 fr
Dépréciation de la batterie, 5 p. 100 par an		416,65 »
Intérêt, 5 p. 100 par an sur 165 000		687,50 »
Assurance, impôts, etc.		160 »
Total		8141,20 fr

La différence en faveur de la seconde solution est donc de 6514,15 fr; en admettant que ce mois représente la moyenne de l'année, l'économie annuelle sur les frais d'exploitation serait donc de 78 169,80 fr.

En résumé, l'emploi de la batterie d'accumulateurs a permis de réaliser une économie de 270 000 fr sur les frais de premier établissement et une économie annuelle de 75 000 à 78 000 fr sur les dépenses d'exploitation.

Cette solution doit donc être recommandée dans des circonstances analogues.

Ajoutons, pour terminer, que le rendement moyen de la batterie, pendant le mois d'octobre 1896, fut de 85,5 p. 100 en énergie.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 2 juillet 1897.

M. Décombe expose ses travaux sur la *résonance multiple*, qui sont déjà connus de nos lecteurs.

M. Guillaume présente les résultats de ses *études sur les aciers-nickels*.

Ces aciers présentent des propriétés remarquables qui les ont fait rechercher par l'industrie. D'autre part M. Hopkinson a observé que certains alliages deviennent magnétiques quand on les porte à une température très basse ; leur susceptibilité magnétique devient presque nulle quand on les porte à haute température, et elle le reste quand on les ramène à la température ordinaire.

Dans des expériences faites en 1895, M. Benoît a déterminé la longueur d'un mètre à bouts successivement à 4° et 6°; les coefficients de dilatation du fer et du nickel étant respectivement $11{,}5.10^{-6}$ et $12{,}5.10^{-6}$, il avait cru pouvoir rendre les deux séries d'observations comparables en admettant pour l'alliage un coefficient voisin de 12.10^{-6}. Les divergences se montrèrent supérieures aux erreurs d'observations; elles doublèrent quand il voulut comparer une nouvelle série faite à 8°. Des comparaisons faites à 17° avec une règle de bronze montrèrent que la dilatation de l'acier en question était supérieure à celle du bronze.

Dans un essai fait sur une règle d'acier-nickel fourni par M. Hartmann, directeur du service technique de l'artillerie, M. Guillaume a retrouvé identiquement les mêmes résultats; pour un acier à 22 p. 100 de nickel et 2,3 p. 100 de chrome, le coefficient de dilatation est 18.10^{-6}.

Cet acier n'est pas magnétique; partant des résultats de M. Hopkinson, M. Guillaume essaya, mais inutilement, de le rendre magnétique en le refroidissant dans l'acide carbonique solide maintenu dans le vide.

Les expériences abandonnées furent reprises sur des aciers-nickels de la compagnie Commentry-Fourchambault; un échantillon à 30 p. 100 de nickel, présenta un coefficient de $4{,}5.10^{-6}$, plus petit que celui de tous les métaux connus. Cet acier était magnétique; il appartenait donc à un groupe différent du précédent. L'étude générale des dilatations à partir de 0° a montré que quand la teneur en nickel croît progressivement, le coefficient de dilatation croît d'abord, décroît ensuite jusqu'à un minimum très bas pour reprendre ensuite les valeurs croissantes. M. Guillaume met en évidence la faiblesse de la dilatation en chauffant dans un petit fourneau deux tiges, l'une d'acier ordinaire, l'autre de l'alliage étudié, dont une extrémité est maintenue à l'aide d'une vis; l'autre extrémité porte une partie plane qui a été striée et qui vient s'appliquer sur un plan bien dressé; entre les deux surfaces est placée une épingle qui roule lorsque le plan des tiges se déplace par la dilatation et dont le mouvement est mis en évidence par un index.

L'élasticité de ces alliages a été mesurée par la flexion de barres de 1,10 m de long; le coefficient d'élasticité croit d'abord avec la teneur en nickel et passe par deux maxima, séparés par un minimum; le coefficient de dilatation, à partir de 0° semble varier de la même façon; le minimum et le second maximum correspondent à des teneurs très sensiblement égale dans les deux cas.

Au point de vue du magnétisme, on doit distinguer deux grande classes, suivant que les propriétés sont, ou non, fonction réversible de la température. Pour des teneurs du nickel inférieures à 5 p. 100, ce qui correspond sensiblement à la formule Fe^3Ni, les alliages perdent leurs propriétés magnétiques au rouge et ne les reprennent qu'à des températures d'autant plus basses qu'ils contiennent plus de nickel.

Pour des proportions plus élevées, le magnétisme dépend de la température seule; les expériences ont porté sur des barreaux de 10 ou 12 cm de long, ayant de 22 à 25 mm de côté. Ces barreaux étaient suspendus dans une chaudière en laiton, séparée des pièces polaires d'un électro-aimant par une mince feuille de carton d'amiante; on mesurait la force d'arrachement pour diverses températures ascendantes et descendantes. Quand onélève la température la force d'arrachement, voisine de 2 ou 3 kg, reste d'abord à peu près constante, puis elle commence a décroître, et dans un intervalle de 50°, tombe à 4 ou 5 gr; elle décroît ensuite avec une très grande lenteur. Pour un alliage à 45 p. 100, c'est vers 400° qu'est atteinte cette valeur très faible, c'est-à-dire à une température plus élevée que celle ou le nickel perd ses propriétés magnétiques. M. Guillaume répète une expérience d'arrachement mettant en évidence la rapide décroissance de l'aimantation d'un acier entre 40 et 60° et la

réversibilité du phénomène quand la température s'abaisse.

M. Guillaume a mesuré la dilatation au voisinage de la transformation qui fait perdre aux aciers-nickels leurs propriétés magnétiques. Cette mesure a été faite par une méthode différentielle en fixant à une barre d'acier par une vis qui la pénètre, une règle de laiton qui porte à une extrémité une échelle divisée, qui permet d'évaluer la position d'un trait de repère tracé sur la barre à étudier à $\frac{1}{200}$ mm près, les dilatations à mesurer atteignant 3 ou 4 mm. Le coefficient de dilatation d'un alliage 30 p. 100 de nickel croît d'abord assez rapidement, puis beaucoup plus vite pendant la transformation; la variation redevient ensuite plus lente et à peu près linéaire, sa valeur moyenne étant à peu près double de ce qu'elle était dans la première période. Quand la teneur en nickel s'élève, la température de transformation devient très élevée et on n'observe plus qu'une variation régulière et très faible de la dilatation; on peut prévoir que les propriétés des alliages supérieurs à une température donnés sont les mêmes que celles des alliages pauvres à une température beaucoup plus basse.

Nous passons sur les études très intéressantes de permanence des propriétés des aciers-nickels et nous arrivons aux seules applications qui intéressent les électriciens. M. Guillaume a construit, à l'aide d'une tige d'acier à 30 p. 100 qui subit la transformation magnétique entre 80 et 100°, un coupe-circuit; la tige, qui porte le courant, reste fixée à un aimant tant que sa température est basse; quand elle s'échauffe, l'aimant cesse de l'attirer et un ressort antagoniste la soulève en rompant le circuit que l'on referme simplement en remettant la tige en place.

Les propriétés électriques des aciers-nickels sont, chose curieuse, extrêmement régulières. La résistance varie sans aucune singularité de 0° à 130°, les coefficients de variations sont pour l'alliage le plus dilatable et le moins dilatable, respectivement 0,0007 et 0,0013 par degré.

M. VAN AUBEL adresse une lettre *sur les propriétés électriques du « rhéostène »*.

Cet acier au nickel, de composition encore inconnue, est préparé par M. Glover, de Manchester. Il se brase facilement et se soude à la soudure ordinaire. La densité est 7,899. La résistance a été déterminée sur une spirale dont deux extrémités avaient été soudées à de grosses tiges de cuivre et qui était plongée dans un bain de pétrole maintenu successivement à 0°, à la température du laboratoire, aux températures d'ébullition de l'acétone, de l'alcool éthylique et de l'eau. L'échantillon avait été vieilli, c'est-à-dire qu'on l'avait plusieurs fois porté pendant quelque temps á 100° en le laissant ensuite refroidir lentement.

A 0°,44, la résistivité est de 77,07 microhm-centimètre. Le coefficient des variations est sensiblement constant ; il atteint :

+ 0,00119	entre	0°,44	et	14°,47
0,00116	»	15, 6	»	57
0,00114	»	57	»	74
0,00098	»	74, 1	»	100,5

Quand on revient à 0°, on retrouve exactement la même valeur de résistance.

M. CAMICHEL dit quelques mots sur un *ampèremètre* sans aimant dont la description complète paraîtra bientôt dans nos colonnes.

C. R.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 25 juin 1897.

M. SUTHERLAND dépose un mémoire sur *Une nouvelle théorie du magnétisme terrestre* et M. BARTON un mémoire sur l'*Amortissement des ondes électriques dans les fils*.

M. G.-F.-S. SEARLE fait une communication sur le *mouvement uniforme d'un ellipsoïde électrisé*. Il établit que quand un système de masses électriques se meut dans l'éther avec une vitesse constante le champ magnétique qui en résulte, rapporté à des axes de

coordonnées se mouvant avec ces masses, peut être complètement défini au moyen d'une seule quantité, dont la force électrique et la force magnétique sont des fonctions; il montre ensuite que la distribution de l'électricité sur un ellipsoïde animé d'un mouvement de translation uniforme est la même, pour l'état d'équilibre, que lorsqu'il est en repos. Considérant le cas d'une sphère, il fait remarquer que, puisqu'une sphère en repos produit le même effet que si toute la charge était concentrée en son centre, une sphère animée d'un mouvement de translation uniforme produira le même effet qu'une ligne uniformément électrisée, la longueur de cette ligne étant au diamètre de la sphère dans le rapport de la vitesse de celle-ci à la vitesse de la lumière; il en conclut que si la vitesse de translation est égale à celle de la lumière, la longueur de la ligne est égale au diamètre de la sphère et qu'alors la charge de la sphère est en équilibre quelle que soit sa distribution et que l'action exercée par cette sphère sur une autre se mouvant avec la même vitesse est nulle. L'auteur fait ensuite le calcul de l'énergie possédée par un ellipsoïde se mouvant suivant la direction de l'un de ses axes; comme cas particulier, il examine celui où les trois axes sont égaux (sphère) et celui où l'un des axes est très petit (disque).

A propos de cette communication le professeur Perry fait observer que les résultats obtenus par l'auteur permettraient de résoudre plusieurs problèmes relatifs à l'effet de la rotation de la terre sur sa charge électrique superficielle.

Analyse des bronzes et des laitons par voie électrolytique;

Par A. Hollard [1].

« Cette communication a pour but moins de faire connaître des méthodes, à proprement parler, nouvelles, que de donner le détail de procédés permettant le *dosage rigoureux et facile* du cuivre, de l'étain, du zinc, etc., entrant dans la composition des bronzes et des laitons.

» I. Bronzes. — *Dosage du cuivre* (*électrolyse en solution acide*). — 5 gr d'alliage sont attaqués, dans un verre de Bohême, par un mélange de 25 cm³ d'acide nitrique à 36° B., et 15 cm³ d'acide sulfurique concentré [1]. En présence d'une aussi grande proportion d'acide sulfurique, l'étain se dissout, au moins en partie. On étend à 350 cm³ et l'on chauffe le liquide à une température voisine de l'ébullition, en le maintenant à cette température jusqu'à ce que la partie insoluble, qui contient l'étain, se soit bien rassemblée au fond du vase. Dans ces conditions, on obtient une liqueur parfaitement claire dans laquelle on peut plonger, sans la troubler, le cône et la spirale de platine servant d'électrodes. On suivra, pour la marche de l'électrolyse, les indications que nous avons données dans une précédente note [2].

» *Dosage de l'étain* [*électrolyse en solution chlorhydrique, additionnée d'oxalate d'ammonium* [3]]. — Le liquide, exempt de cuivre, est évaporé au bain de sable jusqu'à ce qu'il ne reste plus que quelques gouttes d'acide

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1451, séance du 21 juin 1897.

[1] On devra suivre les procédés que nous avons indiqués dans une précédente note. (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 1003; *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 557, 19 décembre 1897.)

Si l'on désire opérer sur un poids d'alliage différent de 5 gr, on prendra les quantités d'acide suivantes :

Pour 1 gr d'alliage, 20 cm³ d'acide nitrique à 36° B. et 6 cm³ d'acide sulfurique concentré.

Pour 2 gr d'alliage, 21 cm³ d'acide nitrique à 36° B. et 8 cm³ d'acide sulfurique concentré.

Pour 10 gr d'alliage, 30 cm³ d'acide nitrique à 36° B. et 20 cm³ d'acide sulfurique concentré.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 1003; *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 557, 19 décembre 1897.

[3] L'emploi de l'oxalate d'ammonium pour l'électrolyse de l'étain a déjà été indiqué par M. Classen; mais cet auteur recommande d'opérer en solution aussi neutre que possible : nous avons reconnu que, dans ces conditions, le bain peut arriver à se troubler, pendant l'électrolyse, par des combinaisons insolubles d'étain.

sulfurique. On reprend par de l'acide chlorhydrique et de l'eau, et l'on précipite l'étain par un courant d'hydrogène sulfuré dans les conditions ordinaires. Le sulfure d'étain, lavé comme d'habitude avec une dissolution de chlorure de sodium, est dissous dans du sulfhydrate jaune d'ammoniaque, et cette solution est évaporée à sec au bain-marie. Le résidu obtenu est attaqué par 9 gr de chlorate de potasse en dissolution dans l'eau, et un excès d'acide chlorhydrique. La solution d'étain ainsi obtenue est évaporée de nouveau à sec au bain-marie, et le résidu repris par 30 cm³ d'acide chlorhydrique pur ordinaire et de l'eau. On filtre cette nouvelle solution et l'on y fait dissoudre 30 gr d'oxalate d'ammonium pur; enfin, on l'électrolyse après l'avoir chauffée à 90° environ. Le courant employé est de 0,7 ampère. Au bout de douze heures, le dépôt est généralement complet. Les électrodes que nous employons sont toujours le cône et la spirale que nous avons décrits dans la précédente note ci-dessus visée. Le dosage est tout à fait exact et le dépôt très adhérent [1].

» *Dosage du zinc par électrolyse* [2]. — La liqueur, exempte de cuivre et d'étain, est débarrassée par la chaleur de tout l'hydrogène sulfuré dissous, puis évaporée à sec au bain de sable jusqu'à ce qu'il ne reste plus que quelques gouttes d'acide sulfurique. On reprend par l'eau le sulfate de zinc ainsi formé; on neutralise par l'ammoniaque et l'on ajoute à la dissolution 15 cm³ de citrate d'ammoniaque au $\frac{1}{10}$, 9,4 cm³ d'acide acétique cristallisable, et de l'ammoniaque jusqu'à neutralisation (soit 13,8 gr d'acétate d'ammoniaque sec), enfin 3 cm³ d'acide acétique cristallisable.

» Le bain ainsi obtenu contient, outre le zinc à l'état de sulfate, de l'acétate d'ammoniaque, du citrate d'ammoniaque et de l'acide acétique [1]. On soumet ce bain à un courant de 0,6 ampère pendant douze heures environ. Au bout de ce temps, tout le zinc s'est déposé sur le cône en dépôt très adhérent. Le dosage est très exact.

» Le zinc déposé dans ces conditions peut facilement être retiré du cône par simple immersion dans de l'acide nitrique à la température ordinaire.

» Si le bronze contenait du *fer*, celui-ci se déposerait, au moins en partie, avec le zinc; on retranche dans ce cas du poids du zinc trouvé celui du fer entraîné qu'on dose facilement par le permanganate de potasse [2].

» Le *plomb*, que l'on rencontre souvent dans les bronzes, est dosé par électrolyse, en solution nitrique sur une nouvelle prise de l'alliage, comme nous l'avons indiqué précédemment (voir *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 1003). Il n'est pas nécessaire de filtrer le bioxyde d'étain qui résulte de l'attaque de l'alliage par l'acide nitrique; en chauffant le liquide pendant un certain temps, presque à l'ébullition, puis le laissant refroidir, le bioxyde d'étain se rassemble très bien au fond du vase et ne gêne pas le dépôt électrolytique du plomb.

» II. LAITONS. — Le *dosage du cuivre* se fait d'après les indications données à propos de l'analyse du cuivre industriel (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 1003; *L'Éclairage*

[1] Pour avoir des dépôts complets et adhérents, il est nécessaire de dépolir la surface des cônes servant d'électrodes. Voici le procédé que nous employons à cet effet: nous recouvrons le cône d'une petite couche de zinc par le procédé électrolytique indiqué dans la présente note; nous enlevons ensuite le zinc par immersion dans de l'acide nitrique, enfin nous plongeons dans du bisulfate de potasse fondu. Cette opération doit être répétée jusqu'à ce que le cône ait complètement perdu son poli.

[2] On retrouvera dans ce procédé de dosage quelques éléments de la méthode de M. Riche (*Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 226).

[1] Ainsi que du sulfate de soude provenant du chlorure de sodium contenu dans les eaux qui ont servi à laver le sulfure d'étain; ce sulfate de soude ne gêne pas l'électrolyse.

[2] Nous avons observé que le fer peut se déposer au fond du vase pendant l'électrolyse à l'état de sel basique, si le courant dépasse 0,6 ampère, ou même si l'on fait passer le courant avec une intensité de 0,6 ampère pendant très longtemps.

Électrique, t. IX, p. 557, 19 décembre 1896).

» Le *dosage du zinc et des impuretés* s'effectue suivant les procédés indiqués plus haut. »

Interrupteurs rapides pour bobines d'induction;

Par C. Margot (1).

Le développement de la radiographie a fait apporter un certain nombre de modifications et de perfectionnements dans les interrupteurs classiques de la bobine de Rhumkorff. Déjà nous avons signalé les interrupteurs de A. Londe (2), de H.-L. Sayen et G. Willyoung (3) et de Ducretet et Lejeune (4); le dernier numéro des *Archives des sciences physiques et naturelles* nous en fait connaître deux nouveaux, imaginés par M. C. Margot, préparateur à l'Université de Genève.

L'un d'eux, le plus simple, est constitué par une hélice d'un nombre restreint de spires d'un gros fil de cuivre placée entièrement dans l'intérieur d'une éprouvette ou d'une simple bouteille à large goulot. L'extrémité inférieure de l'hélice est redressée sur 6 à 8 cm de longueur et vient plonger dans du mercure contenu au fond de la bouteille et recouvert lui-même d'une couche d'eau. L'extrémité supérieure est adaptée à un bouchon qui ferme complètement le flacon. Le bouchon est encore traversé par une tige de cuivre qui amène le courant au mercure et de là à la spirale, et par un barreau de fer doux que l'on peut enfoncer plus ou moins dans l'intérieur de l'hélice. Le tout, pour éviter l'échauffement, peut être placé dans un second récipient entièrement rempli d'eau.

Le fonctionnement de cet interrupteur est très simple. Par suite du passage du courant qui actionne la bobine d'induction, il se produit une attraction énergique des spires de l'hélice, action attractive qu'amplifie encore considérablement la présence du barreau de fer doux; le contact avec le mercure de l'extrémité de la tige de cuivre terminant la spirale est ainsi brusquement interrompu, puis rétabli par suite de l'élasticité de la spirale qui reprend sa position primitive; le phénomène recommence et donne lieu à une oscillation rapide de la spirale, oscillation dont l'amplitude peut atteindre 2 cm et plus avec les courants intenses de 15 à 20 ampères qu'exige le fonctionnement des grosses bobines d'induction. La vitesse de l'oscillation de la spirale dépendant du diamètre du fil de cuivre, de sa dimension transversale, du nombre des spires, on trouvera très aisément les dimensions les mieux appropriées pour une bobine d'induction donnée. On peut d'ailleurs modifier, dans une certaine mesure, la rapidité des oscillations en adaptant à l'appareil une pince pour pouvoir, à volonté, immobiliser un certain nombre de spires, ou mieux, un écrou fileté dans lequel l'hélice s'enfonce plus ou moins par une simple rotation dudit écrou.

Le second modèle d'interrupteur donne une rapidité d'oscillation plus grande encore, mais est d'une construction moins simple que le précédent. Son fonctionnement est inverse : la spirale de cuivre est fixe, tandis que la tige de fer doux est libre de se mouvoir dans son intérieur; en réalité pour donner à l'appareil une plus grande puissance la spirale est un véritable électro-aimant formé d'un gros fil de cuivre isolé. L'une des extrémités de la tige de fer dépasse la partie inférieure de la bobine d'environ deux fois la longueur de celle-ci, tandis que son autre extrémité est à la hauteur du centre de la bobine; le contact avec le mercure est fait au moyen d'une pointe en cuivre ou en platine rivée dans le fer. L'extrémité supérieure du barreau de fer est soudée à une tige de cuivre que l'on contourne en spirale dans la partie qui est située au-dessus de l'hélice magnétisante. Bien que traversée par le courant, cette spirale agit surtout en vertu de son élasticité, comme ressort antagoniste pour

---

(1) *Archives des Sciences physiques et naturelles*, de Genève, 4e période, t. III, p. 554, 15 juin 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 335, 13 février 1897.

(3) *Idem*, t. XI, p. 426, 22 mai 1897.

(4) *Idem*, t. XII, p. 7:, 3 juillet 1897.

rétablir le contact avec le mercure lorsque, sous l'action du courant, le barreau est soulevé dans l'intérieur de l'électro-aimant. Cet interrupteur peut être facilement construit de manière à donner de la rapidité et de l'amplitude aux oscillations.

L'auteur ajoute qu'il n'est pas indispensable d'employer, comme on le fait généralement, le platine pour établir les contacts dans les interrupteurs à mercure; le cuivre convient bien et s'il a l'inconvénient de se recouvrir à la longue d'une couche de vert-de-gris, ce défaut est largement compensé par une conductibilité électrique bien supérieure à celle du platine et par l'élimination des soudures avec le fer ou le cuivre ou de contacts défectueux qui s'échauffent.

Mesure des courants alternatifs au moyen d'une aiguille de galvanomètre disposée obliquement; méthode de détermination de la différence de phase;

Par Lord Rayleigh [1].

L'auteur a proposé autrefois d'employer, pour la mesure des courants alternatifs, une aiguille de fer doux; ce système, appliqué par Giltay, fonctionne dans plusieurs appareils industriels; le présent mémoire donne la théorie générale et une application à la mesure de la puissance.

Si l'on peut négliger les courants induits et si le champ alternatif qui agit sur l'aiguille est suffisamment faible, on peut admettre que le magnétisme de l'aiguille se compose de deux parties, l'une permanente, qui ne joue aucun rôle, l'autre périodique, qui est sensiblement proportionnelle au champ. Le couple exercé sur l'aiguille varie comme le produit du carré du champ par le sinus du double de l'angle que fait l'aiguille avec la direction du champ; cet angle devra donc être 45° dans la position d'équilibre.

Dans des expériences sur l'oxydation de l'azote par l'arc ou la flamme électrique, sous un potentiel alternatif de 3000 volts produit par un transformateur, l'auteur n'a pu se procurer de wattmètre supportant le courant de 40 ampères, qui passait dans le primaire; ayant mesuré séparément l'intensité et le voltage, il a déterminé la différence de phase par la méthode que nous allons exposer.

Une aiguille de fer doux, de 2 cm de long, est suspendue entre deux bobines parallèles ayant un même axe, sur lequel elle fait un angle de 45°. La bobine M, qui est réduite à un seul tour de fil de 17 cm de diamètre, est traversée par le courant principal (10 ampères environ); la bobine S, qui comprend 32 tours de fil, avec une résistance en série, est une dérivation aux bornes du primaire entre des points dont les potentiels diffèrent de 40 volts. Si les courants sont sinusoïdaux et de même fréquence, le champ exercé par M est de la forme $A \cos nt$, celui de S est $B \cos (nt - \varepsilon)$ ε étant la différence de phase à évaluer; les couples sont respectivement A^2 et B^2 et, quand les deux bobines agissent simultanément, $A^2 + B^2 - 2AB \cos \varepsilon$.

On peut opérer de plusieurs façons:

1° On règle la position et la résistance de S de façon que les couples A^2 et B^2 soient égaux, on fait agir simultanément M et S, on trouve

$$A^2 = B^2 = 40 \text{ div.} \quad A^2 + B^2 - 2AB \cos \varepsilon = 26,5,$$

et

$$\cos \varepsilon = 0,67,$$

2° Dans une seconde expérience on rend égaux le premier et le troisième couple:

$$A^2 = 40 \quad B^2 = 71 \quad A^2 + B^2 - 2AB \cos \varepsilon = 40,$$
$$\cos \varepsilon = 0,665,$$

3° Si ε est voisin de 90°, on détermine séparément A^2, B^2 et $4AB \cos \varepsilon$, en renversant le courant dans S, tandis qu'on le maintient dans M.

4° Si ε est voisin de 0°, on peut chercher à rendre le troisième couple nul.

Un calcul simple montre que, pour un courant quelconque, le rapport des watts

---

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLIII, p. 343.

vrais aux watts apparents est encore le cosinus d'un angle du triangle qui a pour côtés les racines carrées de trois couples. Si l'on observe successivement des couples résultants C_1 et C_2 en renversant le courant dans la bobine S, on a encore, pour un courant quelconque, un facteur de réduction

$$\cos \varepsilon = \frac{C_1^2 - C_2^2}{4AB}.$$

Dans les conditions de l'expérience, la phase du courant dans S est très sensiblement la même que celle de la différence de potentiel ; en effet le rayon moyen de S est 6 cm, la section de l'enroulement est un cercle de 1 cm de rayon ; la formule de Maxwell

$$L = 4\pi n^2 a \left\{ \log \frac{8a}{c} - \frac{7}{4} \right\}.$$

donne pour la self-induction une valeur voisine de 10^6 cm ; la constante de temps, en appelant r la résistance en ohms, est de l'ordre de $\frac{1}{r.10^4}$. On a environ $r = 100$, tandis que la période du courant est d'environ $\frac{1}{100}$ seconde. Quant à l'induction mutuelle elle est négligeable, vu la distance des bobines. C. R.

Expériences de cours et de laboratoire pour l'étude des courants variables ;

Par F. Braun [1].

L'indicateur de courant employé dans ces expériences est un faisceau de rayons cathodiques [2]. Les dimensions de l'appareil qui ont donné les résultats les meilleurs sont indiquées sur la figure 1. K est une cathode en

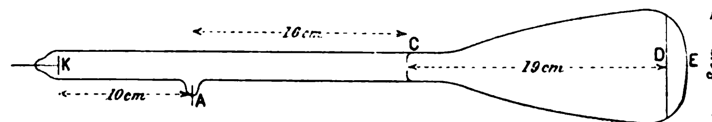


Fig. 1.

aluminium, A l'anode, C, un diaphragme en aluminium avec une ouverture de 2 mm ; D est un écran phosphorescent. Il est bon d'entourer le tube au voisinage de D par une feuille de clinquant reliée au sol. Le tube était excité par une machine de Tœpler à 20 pla-



Fig. 2.

teaux; mais, dans la plupart des cas, il suffit d'une bobine d'induction avec interruption très rapide. Lorsqu'on approche du tube dans la région où se trouve l'écran une petite bobine parcourue par un courant, la tache lumineuse est déplacée ; un courant alternatif provoque des oscillations. Si on observe la tache dans un miroir tournant, on voit alors une courbe qui représente la variation du courant en fonction du temps.

La courbe de gauche représente les oscillations du courant alternatif fourni par la station centrale de Strasbourg (50 alternances), la courbe de droite dont la courbe pointillée est le prolongement correspond aux vibrations d'un diapason. L'analogie entre les deux courbes est frappante.

La figure 3 donne la courbe d'oscillation d'une petite bobine d'induction.

Pour obtenir les courbes de Lissajous, on lance le courant dans une bobine placée verticalement au-dessus du diaphragme ; sous le

---

(1) *Wied. Ann.* t. LX, p. 552-559 ; 1897.

(2) Cette application des rayons cathodiques avait été signalée par notre collaborateur M. Hess, il y a plusieurs années déjà ; *Comptes-rendus*, t. CXIX, p. 57 ; *La Lumière Électrique*, t. LIII, p. 91, 14 juillet 1894.

tube on fait tourner dans un plan horizontal un petit barreau aimanté. La tache lumineuse décrit, quand on augmente progressivement la vitesse de rotation de l'aimant, des courbes de Lissajous ; mais quelques-unes seulement peuvent être bien observées.

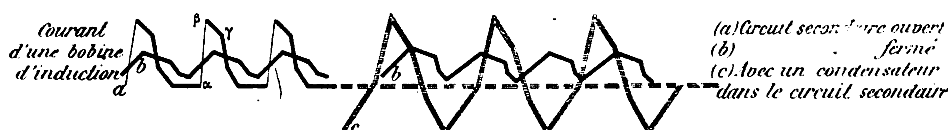


Fig. 3.

La même méthode permet de mettre en évidence les différences de phase qui résultent de la self-induction ou de la capacité du circuit.

Par exemple, le courant de la station ramené à une intensité de 0,5 à 3 ampères, traverse une bobine qui fait osciller le faisceau de rayons cathodiques dans un plan horizontal, puis le circuit primaire de la bobine d'induction, dont l'interrupteur est maintenu immobile ; la bobine est placée de manière que son courant secondaire fasse osciller les rayons dans la direction verticale ; enfin le courant se rend à un commutateur qui permet

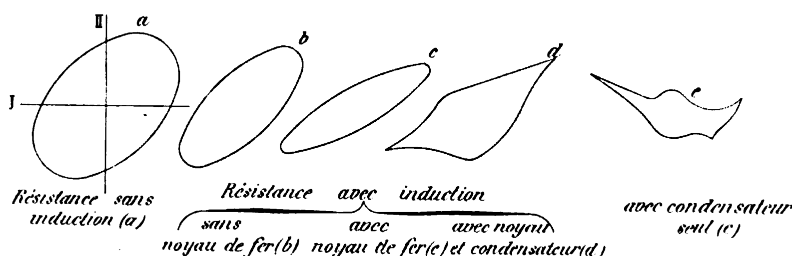


Fig. 4.

d'introduire dans le circuit la bobine d'un « Schlitten apparat » de Helmholtz ou une résistance équivalente, mais sans induction. Les courbes *a*, *b*, *c*, *d*, *e* (fig. 4) correspondent aux divers cas ainsi réalisés.

On peut aussi étudier les différences de phase résultant de la polarisation et la vitesse de propagation de l'aimantation dans le fer. Pour cette dernière expérience, deux bobines sont placées près du tube ; l'une a son axe vertical, l'autre a son axe horizontal et peut glisser le long d'un barreau de fer disposé perpendiculairement à l'axe du tube ; les deux bobines sont traversées par le même courant alternatif.

Quand on déplace la bobine le long du barreau, la forme et l'orientation de l'ellipse lumineuse changent ; la différence de phase entre les deux composantes est $\frac{\pi}{2}$, quand le centre de la bobine est à 42 cm de l'extrémité du barreau, indépendamment de l'intensité du courant. Le courant ayant 50 alternances par seconde, on en déduit pour la vitesse de propagation de l'ébranlement magnétique 82 m par seconde. Ce nombre est voisin de celui qu'a trouvé Oberbeck dans des conditions analogues (88,7 m).

Dans aucun cas, on n'a observé d'inertie des rayons cathodiques. M. L.

Vibrations électriques produites par la résonance et amorties par le rayonnement ;

Par M. Planck [1].

Dans un mémoire précédent [2], M. Planck a étudié les conditions dans lesquelles se pro-

---

[1] *Wied. Ann.* t. LX, p. 577-600.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 515, 14 mars 1896.

duit la résonance stationnaire, quand une onde électromagnétique rigoureusement périodique mais de période d'ailleurs quelconque, rencontre un résonateur rectiligne, dont les dimensions linéaires sont petites vis-à-vis de la longueur de l'onde excitatrice. Les quantités d'énergie reçue et émise par le résonateur sont parfaitement définies, d'après les équations de Maxwell. Si dans le résonateur l'énergie électrique est transformée en chaleur de Joule, cette perte d'énergie et de même celle qui est due au rayonnement sont compensées par l'absorption ; si la chaleur de Joule n'entre pas en ligne de compte (comme dans le cas des oscillations hertziennes et des rayons calorifiques), l'absorption est égale à l'émission. La nature du résonateur influe seulement sur la différence de phase entre l'onde excitatrice et l'onde excitée, qui dépend de la différence entre la période propre du résonateur et la période de l'onde excitatrice. Reste à savoir comment ces deux différences sont liées entre elles et aussi comment l'état stationnaire se produit.

Pour pouvoir résoudre cette question, sans être obligé de faire des hypothèses particulières sur le résonateur, M. Planck suppose que le produit de la vitesse de propagation des ondes par l'inverse de la vitesse relative de la variation du champ électromagnétique est très grand vis-à-vis des dimensions linéaires du résonateur ; cette condition, comme nous le verrons, se lie à cette autre, que les vibrations sont faiblement amorties.

Supposons d'abord que l'onde excitatrice soit nulle ; l'absorption par le résonateur sera nulle également et nous avons simplement l'amortissement d'une vibration provoquée une fois pour toutes dans le résonateur. La perte d'énergie résulte seulement de l'émission et l'influence de l'amortissement par l'émission est prépondérante.

Il faut distinguer entre cet amortissement dû à l'émission et l'amortissement qui résulte de la résistance ohmique. Ce dernier est sensible surtout dans les oscillations lentes ; c'est l'opposé pour l'amortissement dû à l'émission si bien que pour les oscillations hertziennes, quand les fils ne sont pas très fins, il dépasse l'autre. Une autre différence essentielle réside dans le fait que l'amortissement dû à la résistance dépend des propriétés internes du résonateur, tandis que l'amortissement dû au rayonnement dépend seulement des propriétés du milieu qui entoure le résonateur et des conditions à la surface de celui-ci : dans aucun cas, on ne peut faire abstraction de l'amortissement dû au rayonnement. Même quand la période propre du résonateur coïncide rigoureusement avec celle de l'onde excitatrice, la vibration excitée a toujours un maximum fini, tandis que si l'amortissement provenait seulement de la résistance, on obtiendrait une vibration d'une intensité illimitée.

Supposons que dans le champ électromagnétique le résonateur émette une vibration, pour laquelle nous désignerons les composantes des forces électriques et magnétiques respectivement par X, Y, Z, et L, M, N, et que cette vibration ait été excitée par une onde primaire, dans laquelle X′, Y′, Z′, L′, M′, N′ sont les composantes des forces.

D'après le théorème de Poynting, le flux d'énergie qui pendant le temps dt sort d'une sphère de rayon R ayant son centre à l'origine des coordonnées (l'origine est supposée en un point du résonateur), a pour expression :

$$\frac{v\,dt}{4\pi}\int dS\left[\left\{(Y'+Y)(N'+N)-(Z+Z')(M+M')\right\}\cos(r,x)+\ldots\right],$$

l'intégration étant étendue à tous les éléments dS de la surface de la sphère. Cette intégrale peut se décomposer en trois termes :

$$E_1=\frac{v\,dt}{4\pi}\int dS\left[(Y'N'-Z'M')\cos(r,x)+\ldots\right],$$

$$E_2=\frac{v\,dt}{4\pi}\int dS\left[(YN-ZM)\cos(r,x)+\ldots\right],$$

$$E_3=\frac{v\,dt}{4\pi}\int dS\left[(Y'N+YN'-Z'M-ZM')\cos(r,x)+\ldots\right].$$

E_1 représente le flux d'énergie qui proviendrait de la vibration secondaire, si elle existait

seule ; de même E_2, le flux d'énergie correspondant à la vibration primaire supposée seule : enfin E_3 est un terme provenant de la présence simultanée de ces deux vibrations.

D'après le principe de la conservation de l'énergie, la somme $E_1 + E_2 + E_3$ doit être égale à la diminution de l'énergie contenue dans la sphère. C'est en écrivant cette condition qu'on obtient l'équation différentielle qui représente la vibration émise par le résonateur. Les calculs seraient à peu près impraticables dans le cas général ; mais ils se simplifient un peu par suite de l'hypothèse que nous avons faite sur les dimensions linéaires du résonateur. D'après cette hypothèse, les dimensions doivent être très petites, vis-à-vis de l'expression :

$$v \frac{X}{\frac{\partial X}{\partial t}},$$

où X représente une quelconque des composantes des forces électrique ou magnétique. Le rayon R de la sphère sera choisi très grand vis-à-vis des dimensions du résonateur et au contraire petit vis-à-vis des expressions ci-dessus, autrement dit :

$$\frac{R}{v} \frac{\partial X}{\partial t},$$

sera petit vis-à-vis de X.

Nous prenons l'axe des z dirigé suivant la vibration électrique dans le résonateur et nous posons :

$$F = \frac{1}{r} f\left(t - \frac{r}{v}\right),$$

(Les composantes des forces s'expriment en fonction des dérivés de F.)

L'équation différentielle cherchée sera alors de la forme :

$$Kf + L\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} - \frac{2}{3v^2}\frac{\partial^3 f}{\partial t^3} = Z'_0. \qquad (1)$$

K et L sont des constantes positives qui dépendent des propriétés du résonateur ; Z'_0 la composante de la force électrique correspondant à l'onde primaire, suivant la direction du résonateur, au point pris pour origine des coordonnées.

Cette équation diffère de l'équation qui représente une vibration forcée provoquée par la force extérieure Z'_0, seulement en ce que l'amortissement est exprimé non par un seul terme en $\frac{d^2 f}{dt^2}$, mais encore par un autre terme en $\frac{d^3 f}{dt^3}$.

L'équation (1) est du troisième ordre, mais on peut la ramener au second ordre. L'intégrale générale dépend, comme on le sait, des racines de l'équation du troisième degré :

$$K + Lx^2 - \frac{2}{3v^2}x^3 = 0,$$

laquelle a une racine réelle positive et deux racines imaginaires ; seules ces deux dernières correspondent à une vibration. Il suffit donc de poser :

$$\alpha f(t) + \beta f'(t) + f''(t) = \varphi(t),$$

en déterminant convenablement les constantes α et β et la fonction φ. En tenant compte des valeurs relatives des différents termes et négligeant les plus petits, on trouve :

$$\alpha = \frac{K}{L}, \qquad \beta = \frac{2K}{2v^3L^2}, \qquad \varphi = \frac{Z'_0}{L},$$

et l'équation (2) devient :

$$Lf'' + \frac{2K}{3v^3L}f' + Kf = Z'_0. \qquad (3)$$

C'est la forme bien connue qui répond à une vibration provoquée par une force extérieure donnée et amortie par un frottement interne.

Cette équation montre que, dans le cas d'une vibration faiblement amortie, la seule différence entre l'amortissement par émission et l'amortissement par frottement réside dans ce que le coefficient d'amortissement, dans le second terme, ne dépend pas de la nature du résonateur, mais est une grandeur bien déterminée ; cette grandeur est inversement proportionnelle au carré de la période de la ré-

sonance maxima et au cube de la vitesse de propagation des ondes dans le milieu ambiant.

La période de la résonance maxima (un peu inférieure à la période propre du résonateur, à cause de l'amortissement) est égale à :

$$\tau_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{K}},$$

le décrément logarithmique, à :

$$\sigma = \tau_0 \frac{K}{3\nu^3 L^2} = \frac{3\pi}{\nu^2}\sqrt{\frac{K}{L^3}} = \frac{16\pi^4}{3\lambda^3 K},$$

en appelant $\lambda = \nu\tau_0$ la longueur d'onde dans l'air.

Inversement, on peut calculer K et L en fonction de σ et de τ_0 et l'équation de la vibration s'écrit alors :

$$f'' + \frac{2\sigma}{\tau_0} f' + \frac{4\pi^2}{\tau_0^2} f = \frac{3\nu^3\sigma\tau_0}{4\pi^2} Z'_0. \qquad (4)$$

Admettons que l'onde primaire soit rigoureusement périodique, autrement dit que Z'_0 soit de la forme :

$$Z'_0 = A\cos\left(\frac{2\pi t}{\tau} + \delta'\right).$$

Dans le cas de la résonance stationnaire, la vibration secondaire sera représentée par :

$$f = \alpha \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau} + \delta\right).$$

L'équation (4) sera satisfaite à toute époque τ, si :

$$\sin(\delta' - \delta) = \frac{16\pi^4\alpha}{3\nu^3\sigma\tau_0 A}\left(\frac{1}{\tau^2} - \frac{1}{\tau_0^2}\right),$$

et

$$\cos(\delta' - \delta) = \frac{16\pi^3\alpha}{3\nu^3\tau\tau_0^2 A}, \qquad (5)$$

ou enfin

$$\text{tang}(\delta' - \delta) = \frac{\pi}{\sigma}\left(\frac{\tau_0}{\tau} - \frac{\tau}{\tau_0}\right).$$

Nous supposons que A et α sont positifs, autrement dit que $\delta' - \delta$ est compris entre $+\frac{\pi}{2}$ et $-\frac{\pi}{2}$ Comme σ est très petit, il arrivera en général que $\delta' - \delta$ sera voisin de $-\frac{\pi}{2}$ ou de $+\frac{\pi}{2}$: α tend vers o et aucune résonance ne se produit. Seulement dans le cas où $\frac{\tau_0 - \tau}{\tau}$ est petit, $\delta' - \delta$ n'a plus cette valeur limite et il y a résonance. Dans ce cas, on peut écrire approximativement.

$$\text{tang}(\delta' - \delta) = \frac{2\pi}{\sigma}\,\frac{\tau_0 - \tau}{\tau} = \frac{3\lambda^3 K}{8\pi^3}\,\frac{\tau_0 - \tau}{\tau}.$$

D'après l'équation (5), il vient alors :

$$\alpha = \frac{3\lambda^3 A}{16\pi^3}\cos(\delta' - \delta).$$

M. Planck a appliqué la théorie qui vient d'être développée, à l'excitateur de Bjerknes : il trouve pour α les valeurs suivantes :

$$\lambda = 361{,}7 \text{ cm}, \quad 431{,}2, \quad 516{,}7,$$

tandis que Bjerknes donne

$$\lambda = 357{,}6 \quad 413{,}5 \quad 518{,}0,$$

D'après les valeurs théoriques de la longueur d'onde, le décrément logarithmique de l'amortissement dû au rayonnement serait, dans chaque cas :

$$\sigma = 0{,}29, \quad 0{,}30 \quad 0{,}32.$$

il croît, comme on le voit, avec la longueur d'onde. Bjerknes évalue d'après ses expériences, ce décrément à 0,4 en moyenne. La différence entre la valeur observée et la valeur calculée s'explique par deux circonstances. En premier lieu le décrément est calculé pour un vibrateur absolument isolé, tandis que dans les expériences de Bjerknes se trouve tout au voisinage un long circuit servant aux mesures et qui favorise la perte d'énergie.

En second lieu, l'amortissement dû à la résistance ohmique n'est pas négligeable : si on tient compte de celui-ci, on trouve pour l'amortissement total :

$$\sigma = 0{,}38, \quad 0{,}37 \quad 0{,}38.$$

valeurs qui sont très voisines de celles qui ont été observées. Il parait donc démontré que dans l'amortissement des oscillations hertziennes, le rayonnement joue le prin-
la résistance ohmique n'a qu'une influence
cipal rôle et accessoire. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Leçons sur la production industrielle des courants alternatifs. — Cours public professé par M. Pionchon à la Faculté des sciences de Grenoble. — 1e Partie. *Notions fondamentales relatives à l'étude pratique des courants alternatifs, 1896.* — 2e Partie. *Production industrielle des courants alternatifs. 1897.* 2 volumes autographiés. *Grattier*, éditeur, Grenoble.

On a publié dans ces dernières années, en France et à l'étranger, plusieurs traités relatifs aux courants alternatifs ; ce sont, en général, des ouvrages très détaillés mais indigestes ; celui que nous voulons présenter aujourd'hui aux lecteurs de l'*Éclairage Électrique* s'en distingue d'une manière fort agréable par la limpidité extrême de l'exposition qui en rend la lecture facile en même temps que le talent d'exposition de l'auteur la rend attrayante, même pour ceux à qui les sujets traités sont déjà particulièrement connus.

Les deux volumes déjà parus du cours de M. Pionchon, qui résument les leçons de 1895 et 1896, forment la première partie d'une série complète qui doit épuiser tout le programme des courants alternatifs industriels.

Nous avons trop tardé, à notre gré, à présenter ce travail ; nous espérons que l'auteur nous en excusera, car son œuvre y aura gagné un jugement plus complet.

Le *premier volume* nous fait passer en revue les propriétés générales des courants alternatifs indépendamment de leur mode de production. Il est conçu à un point de vue à la fois théorique et expérimental, et chacun de ces deux ordres de considérations y trouve sa place légitime. C'est ainsi que les premiers chapitres indiquent d'abord la définition des courants périodiques et, aussitôt après, l'exposé des méthodes qui permettent de les étudier : méthode stroboscopique, méthode oscillographique, méthode électrochimique, sans oublier la méthode optique de M. Pionchon. La 6e leçon résume les résultats principaux de l'étude des différences de potentiel périodiquement variables, et indique le principe de la représentation des fonctions périodiques par des vecteurs ; la 7e introduit la notion de la différence de potentiel efficace, et discute la question des électromètres ; la 8e indique les méthodes de mesure des courants alternatifs. Les chapitres suivants introduisent la notion de la self-induction, et l'étude de ses effets, puis vient l'étude du rôle des condensateurs, traité sobrement, comme il convient à des appareils qui ont encore si peu d'applications. La 12e et la 13e leçon passent en revue les problèmes classiques des circuits en série et des circuits dérivés, il y est fait un usage constant et parfaitement rationnel de la méthode géométrique, la plus claire et la plus rapide de toutes pour l'étude des courants alternatifs. Des applications intéressantes à la théorie des mesures usuelles, et en particulier à celles qui reposent sur l'emploi des électrodynamomètres, éclairent fort utilement ces théories et en augmentent l'intérêt.

Un chapitre entier, qui est un des plus remarquables de l'ouvrage, montre les corrections à faire aux théories précédentes, pour tenir compte des harmoniques supérieures dans les courants non sinusoïdaux ; les recherches de M. Pupin et de M. Claude n'y sont pas oubliées ; on aurait aimé à y voir également quelques-unes des ingénieuses remarques de Maurice Leblanc sur ce sujet.

La 15e leçon contient un exposé excellent et une très bonne discussion des méthodes de mesure de la puissance ; on y trouve les méthodes de l'électromètre, des 3 voltmètres et des 3 électrodynamomètres, du calorimètre et du wattmètre. La méthode de discussion employée pour ce dernier cas est bien complète ; nous aurions aimé voir cependant ajouter un mot sur l'influence des harmoniques supérieures comme cause d'erreurs ; celle-ci, qui est peu connue, est intéressante dans le cas des courants non sinusoïdaux, et la formule de correction ordinairement employée peut se

trouver tout à fait insuffisante lorsque ces harmoniques sont importantes.

Ce premier volume n'appelle à peu près aucune critique et constitue, croyons-nous, le meilleur guide qu'on puisse offrir à ceux qui veulent se mettre rapidement au courant de la théorie des courants alternatifs et s'en faire pour toujours une idée saine.

Le *second volume* passe en revue successivement les différents types d'alternateurs, leur mode de construction et d'expérimentation, leurs calculs et leurs couplages.

Les 2 premières leçons sont consacrées entièrement à l'étude des principes des alternateurs et à leur classification d'après la disposition des inducteurs et des induits et leurs mouvements relatifs. Cette classification est parfaitement rationnelle et plus complète que celle qu'on donne généralement; du reste parmi toutes ces dispositions il en est plusieurs qui sont difficilement utilisables en pratique.

Les 4 leçons suivantes sont consacrées à l'étude descriptive des alternateurs; les nombreux détails qu'y donne l'auteur ne perdent rien à leur intérêt technique du fait qu'une partie des appareils décrits sont plus ou moins abandonnés depuis ces dernières années; il vaudrait mieux cependant, à ce point de vue, ne pas les appeler « usuels » pour bien indiquer qu'il s'agit d'une revue de types historiques plutôt que de l'étude de la pratique strictement contemporaine. L'auteur passe, en effet, successivement en revue la plupart des types qui ont été construits (quelques-uns même seulement proposés) tant en France qu'à l'étranger; il les divise en deux groupes: le premier, à inducteurs divisés, comprend trois classes, suivant que l'induit est bobiné en anneau, en tambour ou en disque; le second groupe contient les alternateurs à fer tournant, aujourd'hui si à la mode. Les alternateurs polyphasés forment un chapitre à part où revient la même classification. Cette division est très claire; on pourrait la simplifier peut-être encore utilement en remarquant que la différence entre les nombres de phases employées ne constitue au fond qu'un *détail*, et ne change rien aux principes de la construction; les alternateurs polyphasés de Oerlikon, de Brown, de l'Allgemeine, etc., se construisent en fait aussi bien monophasés que polyphasés.

Des tableaux indiquent les stations françaises qui emploient les machines des principaux types examinés.

Nous aimerions à voir, dans une nouvelle édition, M. Pionchon compléter cette description si intéressante par des critiques que la crainte de mécontenter beaucoup d'honnêtes constructeurs l'a fait sans doute laisser de côté. Il ne faut pas se dissimuler en effet que l'expérience est suffisante actuellement pour permettre de condamner au nom de la pratique le plus grand nombre des types décrits. Les alternateurs disque, et les alternateurs en anneau sont à peu près définitivement abandonnés par leurs auteurs mêmes; après Ferranti et Siemens, Mordey lui aussi a abandonné ses induits à bobines amovibles plates; on ne trouve plus dans le premier groupe que deux ou trois types usités, surtout le type à tambour intérieur et le type à tambour extérieur. Les machines à fer tournant elles-mêmes semblent se cristalliser dans une ou deux formes, en particulier celle de Stanley-Oerlikon-Allgemeine-Fives-Lille-Mordey. Quant à certains alternateurs plus ou moins spéciaux tels que la machine de Cail-Helmer, à haute fréquence, ce serait charité envers leurs auteurs que de les passer sous silence.

A part ces petites remarques, le lecteur ne saurait trouver de meilleur guide pour l'étude descriptive des alternateurs que le livre de M. Pionchon; il sera également bien outillé pour l'étude des *propriétés* des alternateurs par la lecture des chapitres IX à XV. L'auteur y présente en effet une excellente synthèse des conditions de fonctionnement d'une machine, en appuyant chaque considération théorique d'une considération expérimentale qui la confirme et l'éclaire. Il passe successivement en revue l'influence de l'excitation, les caractéristiques à différentes vitesses, l'influence du circuit intérieur et du circuit extérieur. Les effets de résistance, capacité, self-induction sont examinés avec l'intérêt qu'ils comportent, et complétés par les calculs d'une bobine à réaction. Une leçon entière est consacrée à l'étude des puissances et du rendement, et de leur détermination expérimentale.

Enfin, les 12e et 13e leçons sont consacrées à deux exemples d'études expérimentales; en ce qui concerne la dernière, relative aux alternateurs du service des phares français, il serait utile, pour prémunir les lecteurs contre toute idée fausse, de signaler que la réaction d'induit de ces machines a été volontairement très poussée, et que, pour un

alternateur destiné à un service d'éclairage général ou de transport de force, elle devrait être au contraire réduite au minimum.

Du couplage des alternateurs, qui occupent les 14e et 15e leçons, il n'y a que peu de choses à dire si ce n'est que nous sommes heureux de voir la méthode graphique exposée sous une forme aussi claire et aussi simple; ce livre contribuera de la façon la meilleure à la faire connaître et comprendre.

Dans les 7e et 8e leçons, qui constituent une des parties les plus intéressantes de l'ouvrage, M. Pionchon expose la marche à suivre pour l'établissement d'un projet d'alternateurs, en prenant comme exemple une machine construite par MM. Brenier et Neyret ; ce chapitre, résumé par des diagrammes schématiques très commodes, rendra certainement des services à tous ceux qui le liront, tout en leur donnant des éléments numériques facilement applicables pour des calculs analogues; nous aimerions cependant le voir compléter par le calcul de la self-induction de l'induit et de la chute de voltage entre la marche à vide et la pleine charge qui est un élément capital à faire intervenir.

Tout l'ensemble de théories et de descriptions qu'on vient de résumer occupe 700 à 800 pages autographiées, accompagnées de nombreux croquis schématiques au trait, convenablement exécutés ; les plus exigeants en matière de terminologie et de symbolisme électriques ne trouveraient, je crois, rien à éplucher dans ce texte ; car M. Pionchon est, comme on le sait, un maître, d'ailleurs sans pédantisme, dans la science des unités physiques et de la terminologie.

En résumé, c'est un plaisir pour l'auteur de cette revue que de pouvoir recommander la lecture de ces deux excellents cours, bien clairs, bien français; on n'y trouve pas de formules compliquées et inutiles; pas de ces exercices de calcul à l'usage des « taupins », que l'on nous offre trop souvent sous prétexte de courants alternatifs ; pas d'admiration exagérée de l'étranger, ni de compilation indigeste des revues étrangères; mais des idées et de bonnes idées, qui puiseront plus tard une sève nouvelle dans une expérience industrielle plus complète. Ce résultat, qui fait honneur à la jeune Université et à l'École grenobloise d'électricité qu'elle a fondée, ne saurait étonner ceux qui connaissent déjà les remarquables travaux de M. Pionchon dans d'autres parties de la physique, et ont pu autrefois profiter de son enseignement; mais il est intéressant de voir l'aisance avec laquelle un esprit d'abord accoutumé aux spéculations de la physique pure a pu s'acclimater sur le terrain plus modeste de l'électricité industrielle, et y développer heureusement toutes ses solides qualités ; nous en félicitons l'auteur, et nous serons heureux de voir son succès s'affirmer de même dans les volumes suivants qu'il nous promet.

A. Blondel.

CHRONIQUE

La décimalisation de l'heure et la Société des Ingénieurs civils. — La Société des Ingénieurs Civils de France s'est émue des conséquences que pouvait entraîner le projet de décimalisation de l'heure. Après avoir discuté la question dans sa séance du 21 mai dernier, elle a chargé une commission de rédiger un rapport ; les conclusions de ce dernier ont été adoptées dans la séance du 2 juillet à l'unanimité moins une voix. Elles portent sur les trois points suivants :

1° *Division du jour en vingt-quatre heures.* — La division du jour en vingt-quatre heures a déjà été adoptée par les compagnies de chemins de fer de différents États. Elle présente d'assez grands avantages, notamment pour la lecture des horaires des chemins de fer. Il y a lieu d'émettre un avis favorable à son adoption.

2° *Décimalisation de l'heure.* — Il ne semble pas que les avantages mis en relief par les partisans de la réforme, avantages qui résident principalement dans la simplification des calculs, soient de nature à compenser le trouble que son adoption apporterait dans l'emploi des unités mécaniques et dans l'industrie de l'horlogerie. La commission émet donc le vœu que cette réforme soit repoussée.

3° *La décimalisation de la circonférence.* — La division de la circonférence en 400 grades a déjà été adoptée notamment par les géographes; elle ne semble pas avoir pour les ingénieurs la même importance que les deux premières réformes proposées et la commission est d'avis qu'il n'y a pas lieu de prendre parti pour ou contre son adoption.

La dépolarisation des électrodes en platine et en mercure. — MM. G. Meyer et K. Klein sont arrivés, à la suite d'expériences nombreuses, aux résultats suivants (*Beiblatter*, 1897, n° 2, p. 137) :

1° La surface de l'électrode polarisée, tant qu'elle demeure petite par rapport à celle de l'autre électrode, n'a pas d'influence sur la dépolarisation.

2° La vitesse de dépolarisation décroît quand la durée de la polarisation augmente ;

3° Si l'on ajoute à l'électrolyte un sel dont l'acide est le même que celui de l'électrolyte et dont le métal est celui des électrodes la vitesse de dépolarisation croît à la cathode.

4° La vitesse de dépolarisation des électrodes de platine est, sauf les restrictions ci-dessous, plus faible que celle des électrodes mercurielles pour un même électrolyte ;

5° Dans les dissolutions de soude, de carbonate, de bromure et d'iodure de sodium la vitesse de dépolarisation des cathodes mercurielles est sensiblement la même que celle des cathodes en platine ;

6° Dans tous les cas étudiés, la polarisation disparaît plus lentement à l'anode qu'à la cathode.

Sur quelques mesures relatives aux courants alternatifs. — Dans les *Beiblatter* (1897, n° 2, p. 139), M. G. Granquist décrit deux appareils permettant d'effectuer des mesures variées sur les courants alternatifs.

L'appareil employé par l'auteur se compose d'une bobine horizontale au centre de laquelle est suspendu perpendiculairement à l'axe un aimant muni d'un miroir. Dès qu'un courant alternatif est lancé dans la bobine, le fil devient le siège de vibrations dont l'amplitude atteint son maximum quand le nombre de ces vibrations par seconde devient égal à la fréquence du courant, condition qui peut être rapidement réalisée en modifiant graduellement la longueur du fil ou bien encore la fréquence du courant. On mesure ensuite, à l'aide d'une lunette à micromètre oculaire, l'élongation de l'image donnée par le rayon lumineux réfléchi par le miroir.

D'autre part, l'auteur a construit également un galvanomètre différentiel à deux bobines, dont les enroulements sont à angle droit. Quand les courants qui traversent ceux-ci ont la même phase, on peut, en faisant tourner les bobines autour d'un axe passant par le fil de torsion, réduire l'amplitude des oscillations du fil jusqu'à zéro. La mesure de l'angle de déplacement des bobines donne alors le rapport des intensités des courants. Si les deux courants présentent une différence de phase, on peut déterminer celle-ci en les faisant traverser chacun une des bobines et en mesurant l'amplitude des oscillations avant et après l'inversion du courant dans l'un des deux enroulements. Si c'est le même courant alternatif qui passe dans les deux enroulements des bobines, on obtiendra la relation entre les coefficients d'induction des deux branches du circuit en amenant l'amplitude des vibrations à zéro, ce à quoi l'on arrive aisément, soit en déplaçant le cadre des bobines, soit en intercalant une résistance sans induction dans l'un des circuits; et si on a déterminé la fréquence, on peut connaître la valeur absolue du coefficient de self-induction.

Purification électrique des eaux d'alimentation des chaudières. — Le *Street Railway Journal* décrit l'appareil de Curtis-Hull qui est employé depuis près de deux ans dans les stations centrales d'éclairage électrique et de tramways, notamment à New-York et à Brooklyn, et qui a donné pleine satisfaction. Il se compose d'un cylindre en fonte à l'intérieur duquel sont superposés alternativement des disques perforés de zinc et de cuivre; l'eau à purifier entre par une des bases du cylindre et en ressort à l'autre extrémité. Pour une puissance de 200 chevaux, les dimensions de l'appareil sont d'environ 22 cm de diamètre et 1 m de hauteur ; pour 600 chevaux, 30 cm de diamètre et 1,55 m de hauteur. L'ensemble des disques forme une sorte de pile de Volta ; sous l'action du courant qu'elle engendre, le sulfate de calcium que contient l'eau et qui forme ciment avec les autres impuretés solides contenues dans l'eau, est décomposé et transformé, par suite d'une petite quantité d'acide chlorhydrique ajoutée à l'eau, en chlorure

de calcium soluble, en sorte que les boues qui se déposent dans les chaudières ne sont pas adhérentes.

Emploi de l'acétylène dans les moteurs à gaz. — D'assez nombreux essais ont été tentés dans ces derniers temps pour utiliser la puissance explosive des mélanges d'air et d'acétylène dans les moteurs à gaz. L'an dernier, nous signalions les résultats obtenus par M. Ravel, avec un moteur de son invention d'une puissance d'environ deux chevaux et avec des mélanges contenant de 3 à 4,5 p. 100 d'acétylène comprimés dans le cylindre à une pression de 2,5 à 3,5 kg : cm²; il résultait de ces essais (*L'Eclairage Electrique*, t. IX, p. 526, 12 décembre 1896) que, dans les conditions où M. Ravel opérait, un cheval-heure effectif est obtenu avec une dépense d'environ 450 litres, soit un volume moindre de celui du gaz d'éclairage nécessaire pour produire le même travail.

M. Cuinat, qui vient de monter dans l'Isère, à Séchilienne, une usine pour la production du carbure de calcium, a fait récemment à Compiègne des essais avec un moteur industriel de 6 chevaux, de son invention, qui accusent un avantage plus marqué en faveur de l'acétylène, d'après les résultats que publie la *Revue industrielle* du 19 juin.

Le moteur employé est du type à quatre temps. Il présente cette particularité que dans le premier temps l'aspiration du mélange d'air et de gaz ne se fait que pendant les deux tiers de la durée de la course du piston : durant le dernier tiers, la soupape d'admission du gaz est fermée, de sorte que l'air frais seul parfait la cylindrée. De plus, lorsque le piston revient en arrière, la période de compression ne commence pas immédiatement, car la soupape d'admission d'air se ferme assez tardivement pour laisser échapper du cylindre le coussinet d'air admis derrière le mélange explosif qui seul subit, par suite, la compression. Dès que le cylindre arrive à fond de course, l'étincelle électrique jaillit entre les pointes d'un inflammateur, la course motrice s'effectue tout entière et la période d'échappement qui survient ensuite complète le cycle. On voit donc que les deux tiers d'une cylindrée de mélange occupent, après l'inflammation, le volume entier du cylindre; il résulte de cette sorte de détente une diminution de la pression à l'échappement qui, d'après M. Cuinat, atteint la moitié de celle que donnent les moteurs ordinaires. Cette circonstance est évidemment tout à l'avantage de l'emploi d'un mélange explosif violent, comme celui que fournit l'acétylène.

On a commencé par une série d'essais au gaz d'éclairage; voici les consommations correspondant au cheval-heure effectif :

Marche à vide (consommation totale). .	1 380 litres
» à demi charge (3 chevaux) . . .	876 »
» à pleine charge (6 chevaux). . .	516 »

Les diagrammes relevés indiquent que la compression s'élève à 6,2 kg : cm², la pression maxima à 17,1 kg : cm² et la pression finale de la détente à 3,2 kg : cm².

On a procédé ensuite, non sans éprouver quelque appréhension, aux essais avec le gaz acétylène. Tout d'abord les explosions étaient très irrégulières; elles faisaient vibrer parfois toute la masse du moteur d'une façon inquiétante, puis la marche se ralentissait; mais il a suffi de régler le robinet à gaz pour faire cesser ces irrégularités et obtenir une marche sans à-coups Le mélange explosif contenait alors 1 volume de gaz pour 20 volumes d'air. Voici les résultats de consommation par cheval-heure effectif, la pression du gaz étant de 80 mm d'eau :

Marche à vide (consommation totale). .	470 litres
» à demi charge (3 chevaux) . . .	302 »
» à pleine charge (6 chevaux). . .	175 »

Le diagramme relevé montre que la compression est de 1,8 kgr : cm² de plus que dans le cas du gaz de houille, ce qui peut être attribué à la plus haute température du cylindre; qu'au moment de l'explosion la pression atteint 29,1 kgr : cm² (contre 17,1 avec le gaz de houille); et que la pression finale n'est que de 2,3 kgr : cm².

La dépense d'eau de refroidissement est plus grande avec l'acétylène qu'avec le gaz de houille; elle s'est élevée à 130 litres à l'heure.

Des chiffres précédents, il résulte que le volume d'acétylène est trois fois moindre que le volume de gaz de houille pour la même puissance; M. Cuinat estime que la consommation des moteurs de 8 à 16 chevaux pourrait descendre à 160 litres par cheval-heure effectif, ce qui ferait ressortir le coût du cheval de 0,28 fr à 0,30 fr. au prix actuel du carbure de calcium.

La station centrale à vapeur de la Compagnie Edison à Chicago. — Cette station, que décrivent en détail MM. H. Lomas et H.-C. Gunton, dans le dernier numéro de *The Electrical Review*, est réputée comme l'une des plus importantes et des mieux comprises de la cité de Chicago. Nous en retracerons brièvement les caractères généraux.

L'usine est située dans Harrison street, où elle se trouve dans d'excellentes conditions pour son approvisionnement de combustible et d'eau. La chambre de chauffe renferme 14 chaudières Heine d'une puissance de 500 chevaux chacune. Ces générateurs avaient été installés dans le but d'utiliser l'huile de pétrole comme combustible (voir *L'Eclairage Electrique*, t. I, p. 553); mais les résultats n'ayant pas été satisfaisants au point de vue de l'économie on leur a fait subir une transformation qui leur permet de brûler du charbon. Les essais comparatifs ont en effet démontré que pour vaporiser 1 000 livres d'eau (454 litres environ) la dépense en pétrole s'élevait à 0,85 fr. en moyenne alors qu'elle n'est que de 0,35 fr. en employant des menus de charbon à 5,56 fr. la tonne rendue à l'usine.

L'eau servant à l'alimentation des chaudières est empruntée aux canalisations de la ville. On peut donc, à l'aide des compteurs, suivre la consommation à chaque instant. Avant de se rendre aux chaudières, l'eau traverse un réchauffeur Worthington, d'où elle sort chaude et filtrée pour se rendre dans un puits de réserve où plongent toutes les crépines des pompes d'alimentation. Le niveau est maintenu constant par un flotteur qui règle l'admission dans le réchauffeur. D'autre part, les eaux provenant de la condensation sont également amenées dans ce puits de sorte que la dépense réelle est relativement assez faible.

La salle des machines est une vaste pièce rectangulaire; sur l'un des côtés sont alignés six groupes à accouplement direct d'une puissance de 1 200 chevaux chacun, et sur l'autre quatre groupes à peu près semblables mais d'une puissance inférieure de moitié. Le fond de la salle est occupé par un monumental tableau en marbre blanc d'un effet des plus décoratifs.

Parmi les dix groupes mentionnés ci-dessus, deux sont formés d'un moteur Edison de 1 200 chevaux entraînant deux génératrices à courant continu, montées en volants une de chaque côté; les huit autres, dont quatre de 1 200 et quatre de 600 chevaux, sont formés chacun d'un moteur Southwarks, couplé suivant les mêmes dispositions que les premiers, à deux génératrices à courant continu. Tous ces moteurs sont à triple expansion et à condensation. D'après des essais effectués récemment avec les grands moteurs Southwarks la consommation de vapeur par cheval indiqué est de 6,02 kg quant le moteur donne 1 100 chevaux et de 6,04 kg pour 1 300 chevaux.

Les dynamos ont été construites par la General Electric Company; ce sont des machines multipolaires à enroulement shunt produisant du courant continu à 150 volts. Les plus grandes ont une puissance de 400 kilowatts et ont des induits lisses enroulés en anneau; les plus petites ne sont que de 200 kilowatts et ont des enduits dentés enroulés en tambour. Les deux dynamos de chaque groupe ont chacune un pôle connecté au fil neutre; les deux autres pôles sont connectés aux conducteurs + et — du système.

Le tableau de distribution, qui est aménagé avec luxe, comporte tous les instruments, appareils et accessoires nécessaires à la répartition des 104 000 ampères que produisent les machines au moment de la pleine charge pour l'alimentation du réseau à trois fils auquel les feeders de la station sont reliés.

Le courant est vendu aux abonnés à raison de 1 fr le kilowatt-heure; un système de tarif décroissant abaisse ce prix à 0,45 fr. pour les gros consommateurs.

Résultats d'exploitation, pour l'année 1896, du secteur électrique de la Rive gauche (Paris). — L'assemblée générale annuelle des actionnaires de cette Compagnie a eu lieu le 25 juin, sous la présidence de M. Durand-Claye, inspecteur général des ponts et chaussées, président du conseil d'administration.

Le rapport qui a été présenté par le conseil, sur les résultats de l'exercice 1896, est des plus intéressants ; nous en résumerons les points principaux :

Avant d'aborder l'examen des comptes, le rapporteur donne d'abord quelques explications relatives au développement des installations et à la marche de l'exploitation.

L'usine, située à Issy, a été mise en marche le 15 janvier 1896. Son matériel générateur (voir *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 193, 1er février 1896) se composait au début de 7 chaudières, 2 alterna-

teurs, 2 excitatrices et divers appareils accessoires, condenseur, pompes à air, chevaux alimentaires, pompes d'épuisement, dynamos, réceptrices, etc. Un troisième alternateur a été installé au mois d'avril 1896, le développement du service faisant prévoir que les deux premiers seraient bientôt insuffisants. Un quatrième alternateur est actuellement en montage, et sera en état de fonctionner dans quelques jours.

On a construit trois nouvelles chaudières, portant leur nombre à dix; c'est la moitié de celles qui seront nécessaires pour desservir les dix groupes d'alternateurs prévus dans les projets.

Des mesures sont prises pour que les installations à l'usine suivent le développement de la consommation, tout en présentant une réserve suffisante pour parer à toutes les éventualités.

Les dépenses, y compris les frais du personnel de tout ordre, se sont élevées, en 1896, à 205329 fr. Elles se sont réparties comme il suit :

Trimestre	Personnel et main-d'œuvre.	Charbon.	Graissage et frais divers.	Total.
1er	14080	22450	9300	45830
2e	17630	25800	6830	50260
3e	17870	26100	4220	48190
4e	19434	35050	6565	61049
Totaux	69014	109400	26915	205329

La progression des dépenses, due pour la majeure partie à la consommation du charbon, a été très lente, alors que la production a suivi un développement incomparablement plus rapide, comme on le verra plus loin.

Le réseau comprend deux sortes de canalisations : la canalisation primaire ou à haute tension et la canalisation secondaire ou à basse tension.

Au 31 décembre 1896, la canalisation s'étendait sur 55,042 km, savoir :

Réseau primaire.	48,673 km
Réseau secondaire.	6,369
Total.	55,042 km

Dans les cinq premiers mois de l'année courante, du 1er janvier au 1er juin, la canalisation s'est accrue de 11,321 km, dont 0,607 km seulement de câbles secondaires.

Le réseau est sectionné à l'aide de 26 boîtes de coupure, dont 9 à 3 directions et 17 à 2 directions, en tronçons qui peuvent être rendus indépendants les uns des autres pour localiser les arrêts nécessités par les travaux neufs ou les réparations.

Les transformateurs destinés à réduire la tension chez les abonnés branchés sur les câbles primaires étaient au nombre de 217 au 31 décembre 1876. Ils desservaient une installation de 12848 hectowats et auraient pu en desservir 15860. Au 1er juin courant, leur nombre s'élevait à 331, qui pouvaient desservir 21945 hectowatts.

C'est seulement le 15 janvier 1896 que l'usine d'Issy a pu desservir les abonnés, qui, à cette époque, étaient au nombre de 62 et avaient souscrit des polices pour le service de :

7491 lampes à incandescence.
83 lampes à arc.
24 chevaux de force motrice,

représentant une capacité de 3849 hectowatts, équivalant à 9,622 lampes de 10 bougies.

A la fin de l'année, le nombre des abonnés était de 466 et la capacité des installations de 16200 hectowatts, équivalant à 40500 lampes de 10 bougies.

Le rapport établit ensuite que la marche des abonnements continue régulièrement. Du 1er janvier au 1er juin 1897, on constate une augmentation de 147 polices, correspondant à une installation de 5147 hectowats ou 12862 lampes de 10 bougies. Au 1er juin, la capacité des installations dépassait 53000 lampes de 10 bougies. Dans ces chiffres ne sont pas compris environ 10000 lampes du groupe universitaire, dont l'installation est activement poussée.

Au 31 décembre 1896 la nature des installations était la suivante : 44 cafés ou théâtres, comprenant 147 lampes à arc et 2636 lampes à incandescence ; 137 appartements, comprenant 9018 lampes à incandescence ; 126 boutiques ou ateliers, comprenant 223 lampes à arc et 3640 lampes à incandescence ; 19 établissements divers, cercles, ambassades, établissements religieux, comprenant 8484 lampes à incandescence ; 56 locaux à la Halle aux vins, comprenant 516 lampes à incandescence.

Il y avait, en outre, 12 moteurs, dont 6 pour ascenseurs et 6 pour appareils mécaniques.

Dans les cinq premiers mois de l'année 1897, ces diverses catégories se sont augmentées de :

20 cafés ou théâtres;
64 appartements;

52 ateliers et boutiques;
5 établissements divers;
14 locaux à la Halle aux vins;
12 moteurs, dont 8 pour ascenseurs.

Enfin, l'éclairage public à l'électricité a été installé, dans les derniers jours de 1896, aux abattoirs de la rive gauche et dans les rues nouvelles du Gros-Caillou.

L'exploitation, modeste à ses débuts, s'est rapidement développée. Le service a décuplé du mois de janvier au mois de décembre 1896. C'est ce que fait voir le tableau ci-après, où est indiqué le nombre d'hectowatts-heure consommés d'après le relevé des compteurs des abonnés mois par mois :

Trimestre	Nombre d'hectowatts-heure relevés aux compteurs des abonnés.	Nombre moyen d'hectowatts en service pendant le trimestre	Horaire moyen par trimestre.
1er	187 013	6 433	89,80
2e	264 822	13 546	63,85
3e	365 596	19 093	57,25
4e	1 241 663	31 830	117,90
Totaux	2 119 094	17 725	328,80

Les recettes ont naturellement suivi une progression parallèle à la consommation. C'est ce qui ressort du tableau suivant :

Trimestre.	Recette pour consommation de courant.	Recette pour la location de compteurs et de branchements.	Recette totale.
	Fr	Fr	Fr
1er	22 689,80	1 480,50	24 170,30
2e.	30 446,95	3 549 80	33 996,75
3e.	35 511,40	4 677,45	40 088,85
4e.	125 330,05	8 575,80	133 905,85
Totaux . .	213 978,20	18 283,55	232 261,75

La recette totale ayant été de 232 261,75 fr, si on la divise par les 2 094 706 hectowatts-heure relevés aux compteurs, on voit que la recette moyenne par hectowatt-heure a été de 0,111 fr, y compris la location des compteurs et des branchements.

Comme, d'autre part, l'horaire moyen s'est élevé à 328,80 h, il en ressort que la recette moyenne par hectowatt de puissance d'installation a été 328,80 × 0,111 = 36,50 fr, correspondant à une recette moyenne de 14,60 fr par lampe de 10 bougies.

Si le même rendement se maintient pendant l'exercice courant, où les installations dépasseront 50 000 lampes en moyenne, on peut compter pour 1897 sur une recette d'environ 700 000 fr.

Les dépenses de l'exploitation se sont élevées en 1896 à 383 311,03 fr, savoir :

	Fr
Exploitation de l'usine d'Issy . . .	178 997,99
Exploitation de l'ancienne usine du Panthéon.	5 847,64
Entretien de la canalisation des branchements et des compteurs.	14 412,17
Redevance à la Ville de Paris. . .	24 563,93
Frais généraux.	160 089,30
Total	383 911,03
Les recettes ayant été de	232 261,73
Il résulte que l'exploitation laisse une insuffisance de.	151 049,28

Il ne fallait pas s'attendre à ce que la Compagnie fût plus favorisée que les autres entreprises similaires et obtînt, dès la première année d'exploitation, des résultats permettant de couvrir immédiatement les frais; mais on peut constater que la perte est restée dans des limites inférieures aux prévisions. Il y a lieu d'espérer, dès maintenant, que l'exploitation de l'exercice 1897 se soldera par un bénéfice important.

Le rapport du conseil passe ensuite à l'examen des chapitres du bilan arrêté au 31 décembre dernier, bilan qui s'établit comme suit :

Actif

	fr.
Souscripteurs d'actions	739 125 »
Cautionnement à la Ville de Paris.	300 000 »
Caisse.	18 026,60
Banquiers	1 974 871,95
Marchandises en magasin	69 263,71
Mobilier des bureaux	11 506,55
Loyers payés d'avance.	3 750 »
Impôts sur titres	12 845,95
Terrains.	784 034,16
Compte de premier établissement, usine d'Issy, canalisation, branchements	7 488 369,22
Prime de remboursement des obligations	112 500 »
Abonnés	53 565,68
Avances sur travaux suivant marchés.	575 117,53
Débiteurs divers	9 774,80
Intérêts et escomptes	185 983,88
Pertes de l'exploitation	151 049,28
Total . . .	12 489 784,23

PASSIF

Capital social	4 000 000 »
Obligations	7 500 000 »
Actionnaires (intérêts restant à payer)	68 204,62
Obligataires (coupons restant à payer)	6 741,79
Effets à payer	230 530,80
Abonnés, avances sur consommation du courant	61 644,75
Créanciers divers	622 662,27
Total	12 489 784,23

Ce bilan constate l'excellente situation de la Compagnie au point de vue financier. Il établit, en effet, que l'entreprise est amplement pourvue de ressources et en mesure de faire face aux installations nouvelles nécessitées par le développement rapide de l'exploitation.

A l'unanimité, l'assemblée générale a approuvé les comptes de l'exercice 1896.

Elle a ratifié la nomination, faite à titre provisoire par le conseil, de M. D. de Colombier comme administrateur.

MM. Delamarre et du Vivier de Streel ont été nommés commissaires des comptes pour l'année 1897.

Prix de revient de l'énergie électrique à Brooklyn, en 1896. — Les chiffres suivants, que publie le *Street Railway Journal*, présentent un intérêt particulier en ce qu'ils permettent de comparer les résultats obtenus avec les groupes générateurs à accouplement direct et à commande par courroies ainsi qu'avec les machines compound à condensation et à échappement libre, dans des conditions d'exploitation aussi identiques que possible, puisqu'il s'agit de l'alimentation d'un même réseau, que le combustible, la main-d'œuvre et la direction sont les mêmes.

Ces prix comprennent tous les payements faits pour le compte des usines, y compris toutes les réparations des bâtiments et des machines.

La station Est comprend 12 batteries de chaudières Babcock et Wilcox, de 500 chevaux chacune, 4 moteurs Allis de 2 000 chevaux, compound, à condensation, 4 génératrices de la General Electric Company, de 1 500 kilowatts, accouplées directement au moteur à vapeur.

La station Sud comprend 8 batteries de chaudière du même type que les précédentes, 6 moteurs compound, Allis, à condensation de 6 000 chevaux chacun et qui entraînent par courroies 12 génératrices de la General Electric Company, de 500 kilowatts.

La station de Ridgewood comprend 4 batteries de chaudières identiques aux précédentes, 3 moteurs compound, Mac Intosh et Seymour, avec échappement à l'air libre, de 700 chevaux, qui entraînent par courroies 6 génératrice G. E. de 300 kilowatts.

Il y a en service, en moyenne, 900 voitures pendant l'hiver et 1 100 pendant l'été.

Les prix de revient sont les suivants par kilowatt-heure :

	Station Est.	Station Sud.	Station Ridgewood	Moyenne générale.
	cent.	cent.	cent.	cent.
Force motrice :				
Combustible et matières premières	1,4790	1,7535	2,8510	1,7535
Main-d'œuvre	0,9480	1,4075	1,6965	1,2010
Réparations :				
Matières premières	0,0895	0,1175	0,0985	0,0995
Main-d'œuvre	0,1280	0,1850	0,1475	0,1480
Totaux	2,6445	3,4635	4,7935	3,2020

Emploi du carborindon pour graduer les échelles à très petites divisions. — La *Physikalische Technische Reichsanstalt* vient de substituer le carborindon au diamant pour la construction des échelles à très petites divisions.

On choisit de préférence les petits cristaux de carborindon de forme plate et hexagonale ayant environ 0,5 à 1 mm de côté que l'on colle sur une monture en acier à l'aide d'une goutte de gomme laque. Les traits des échelles construites de cette façon sont, paraît-il, plus nettement accusés qu'avec une graduation au diamant, et sont encore parfaitement délimités lorsqu'on les regarde à travers un microscope grossissant 50 fois.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. | Samedi 17 Juillet 1897. | 4e Année. — N° 30.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

Les perfectionnements que M. de Ferranti [1] se propose d'introduire dans les machines à induit à fer ont principalement pour objet la fixation des bobines induites et leur protection.

Le type d'armature adopté par l'inventeur est celui à trous, mais c'est un type spécial donnant lieu à un très grand entrefer réel. Les trous B (fig. 1) ont en effet la forme rectangulaire, de dimension beaucoup plus faible dans le sens radial que dans le sens tangentiel, et les dents F qui les séparent ont une épaisseur juste suffisante pour supporter la bobine. Elles ne servent donc nullement de passage au flux magnétique, lequel est forcé ainsi de traverser le corps des bobines induites.

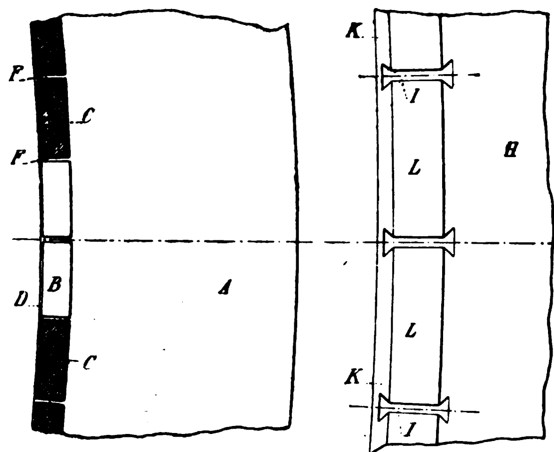


Fig. 1 et 2. — Coupe perpendiculaire à l'axe d'un induit Ferranti.

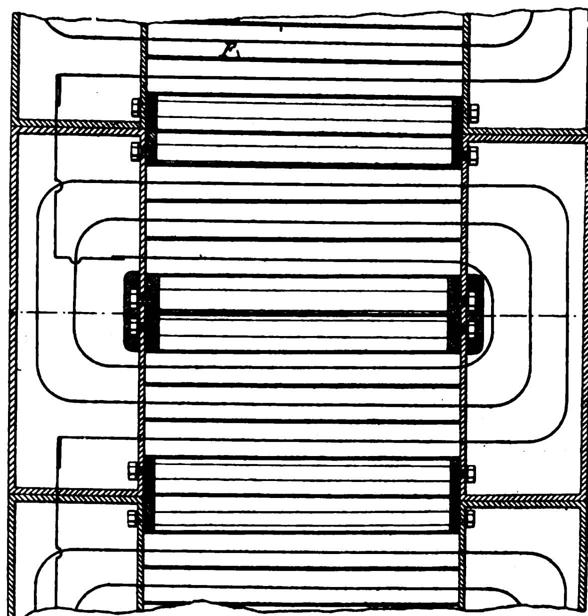


Fig. 3. — Schéma de l'enroulement à un induit Ferranti.

M. de Ferranti répond lui-même à l'objection qu'on pourrait lui poser sur les fuites

(1) Brevet anglais n° 1888, 6 figures. Déposé le 27 janvier 1896, accordé le 5 décembre 1896.

magnétiques introduites par ce genre de construction en se proposant de remplacer les dents en tôles par des pièces en métal non magnétiques (fig. 2), terminées en queue d'aronde et réunissant l'anneau mince extérieur K à la carcasse principale de l'induit formé des tôles H.

Lorsque l'alternateur est à courant monophasé les bobines n'occupent qu'un certain nombre des trous qui leur sont destinés, c'est ce que montrent les figures 1 et 3 représentant la première une coupe d'une portion de l'induit perpendiculaire à l'axe et la seconde le schéma de l'enroulement des bobines dans leurs logements. Ceci a pour but de donner à la machine les mêmes propriétés

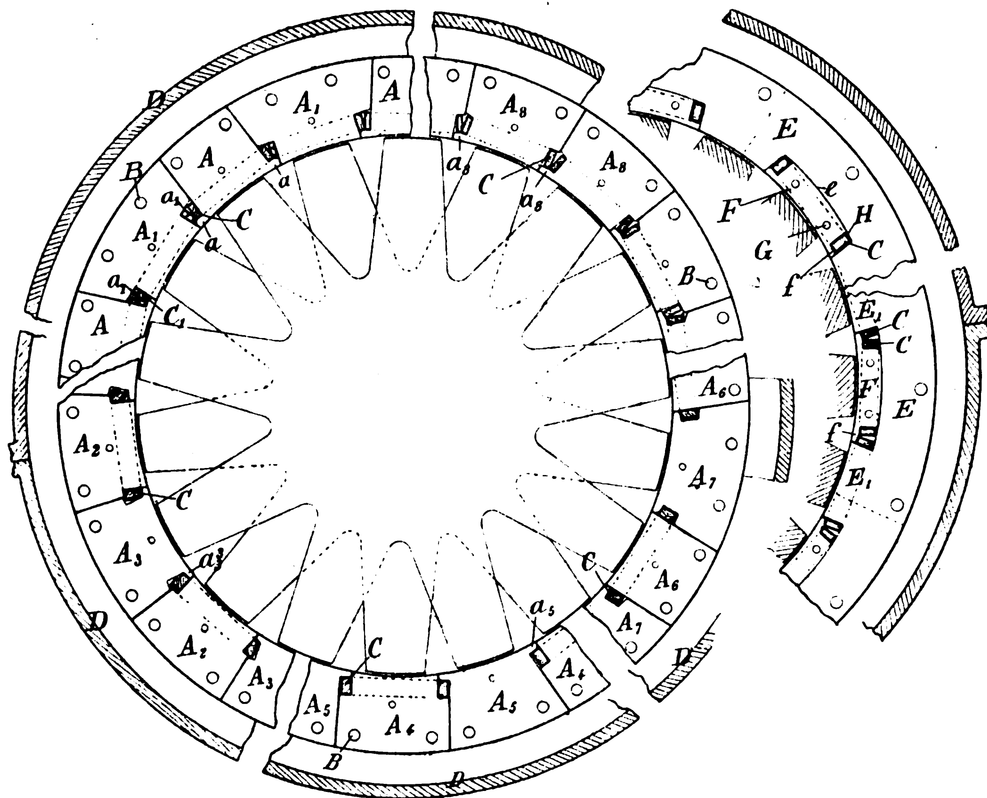


Fig. 4 à 10. — Divers modes de constitution des induits d'alternateurs à fer tournant de MM. Johnson et Steele.

que celles où la distribution du flux magnétique le long de l'entrefer présente la loi de variation voulue soit grâce à la forme particulière du découpage des tôles et de la nature de l'enroulement, soit par l'effet démagnétisant de l'armature, lorsque le fer induit est disposé pour faciliter cet effet.

Les perfectionnements introduits par MM. Walter-Claude Johnson et Louis-John Steele [1] sont beaucoup plus importants et se rapportent aux machines à fer tournant.

Les inventeurs ont surtout eu pour but de combiner divers modes très simples de construction de l'induit, avec un procédé de fixation de bobines induites consistant à ménager sur les paquets de tôles des rebords qui emprisonnent complètement les enroulements.

Les différents modes de construction donnés sur les figures 4 à 8 se rapportent au cas d'un induit dont le fer a été divisé en un certain nombre de paquets.

Dans le cas de la figure 4 ces paquets sont

(1) Brevet anglais, n° 2923, 11 figures. Déposé le 8 février 1896, accordé le 9 janvier 1897.

de deux sortes et portent tous chacun une bobine. Les uns A sont formés de tôles de forme rectangulaire et présentant de légers rebords *a* qui empêchent le déplacement de la bobine C vers l'axe de la machine. Les autres ont une section trapézoïdale et leur base est munie d'encoches a_1 destinées à recevoir les bobines et à prévenir tout mouvement dans le sens radial. Le mode de montage est facile à comprendre sur la figure 1; les noyaux A munis de leur bobine sont d'abord mis en place, puis les noyaux A_1 et leur bobine glissés latéralement.

Sur la figure 5 les paquets de tôles de l'in-

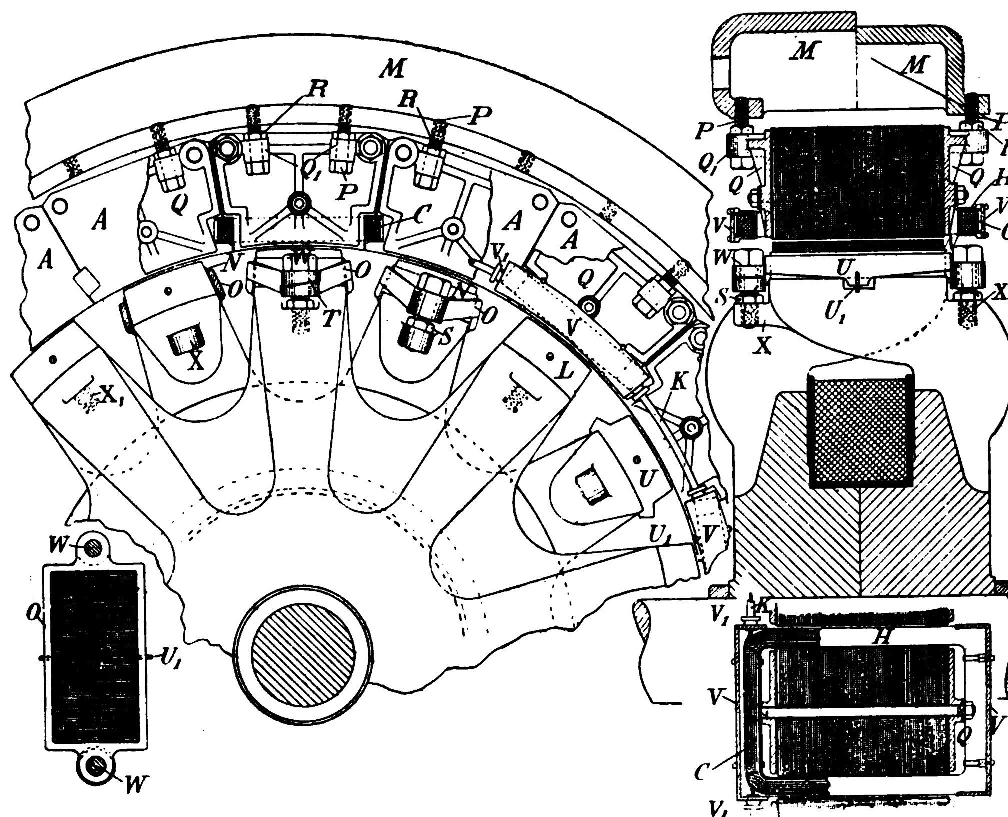


Fig. 11 à 14. — Coupes et vues diverses d'un alternateur Johnson et Steele.

duit ont tous une section trapézoïdale mais les encoches des tôles A_1 sont différentes de celles des tôles A_2 de façon à ce que leur réunion maintienne les bobines induites en place, bobines dont le nombre est ici moitié moindre que celui des pôles de l'inducteur.

On peut aussi, dans ce cas, donner aux paquets de tôles portant les bobines une section rectangulaire; c'est ce qui a lieu pour la figure 6.

Dans le cas de la figure 7 le mode de découpage des tôles est beaucoup plus simple, car seuls les paquets ne portant pas de bobines ont des encoches rectangulaires.

La figure 8 se rapporte à un cas où il y a autant de bobines induites que de pôles sur l'inducteur, la forme des tôles de tous les paquets est ici la même; ce qui donne une plus grande simplicité de construction.

Le procédé de fixation des paquets de l'induit après le bâti permet, comme nous le verrons plus loin, un réglage exact de l'entrefer.

Le fer induit peut être constitué par une série de disques de tôles sans discontinuité.

La fixation des bobines induites par le procédé adopté par MM. Johnson et Steele se fait alors en pratiquant dans l'anneau induit des rainures dans lesquelles sont logés ensuite les noyaux F (fig. 9 et 10) présentant des rebords *f* suffisamment larges pour maintenir une ou deux bobines.

Dans tous les cas les bobines induites sont faites sur des formes spéciales et sont mises en place avec ces formes elles-mêmes. Celles-ci sont constituées, comme on le voit sur les figures 11, 12 et 13, par des caniveaux H en matière isolante dont les parties extérieures au fer portent des couvercles latéraux V. Le fil à la sortie et à l'entrée de la bobine traverse les trous V_1 munis de gaines isolantes K.

Les figures 11 et 12 qui donnent diverses coupes d'une machine montrent le procédé adopté par les inventeurs pour fixer les paquets d'induit après le bâti. Les flasques Q qui serrent les tôles portent en Q_1 des oreilles dans lesquelles passent deux boulons P vissés dans la couronne M formant bâti. La position du paquet une fois réglée un écrou R empêche tout déplacement des boulons.

Pour éviter l'échauffement des masses polaires on constitue souvent celles-ci par des paquets de tôles qui dans le cas actuel sont fixés après le noyau inducteur d'une façon analogue à celle employée pour les paquets d'induit.

Ces projections polaires L (fig. 14) sont formées par une pile de tôles serrées dans un cadre de métal O isolé des tôles et portant deux oreilles W qui viennent en regard d'un bossage X et d'un logement X_1 ménagés sur chaque pôle de l'inducteur. La fixation du paquet est faite à l'aide des boulons W_1 et que serre le contre-écrou S.

Les courants induits qui se produiraient dans le cadre de métal par suite des variations du flux inducteur total peuvent être évités par une coupure T remplacée par une matière isolante.

Les paquets de tôles de l'inducteur sont séparés en deux parties par des pièces métalliques U munies d'appendices U_1 fixés sur les noyaux polaires en fonte ou acier. Ces pièces, dont le nombre peut varier avec la longueur des pôles, sont destinées à partager ceux-ci en plusieurs parties facilement remplaçables.

Jusqu'ici, disent MM. Jackson et Cie et Slater Lewis [1], on a prévenu le déplacement des fils conducteurs sur les induits lisses à l'aide de cales de formes diverses en fibres, en bois ou autres matières végétales. Ce dispositif a le désavantage de résister plus ou moins bien aux effets calorifiques ou autres et de détruire l'homogénéité du champ dans l'entrefer.

Pour remédier à ces inconvénients ces inventeurs emploient de petits coins en métal ayant la forme d'un U, d'un L ou d'un T et disposés parallèlement aux conducteurs comme l'indique la figure 15.

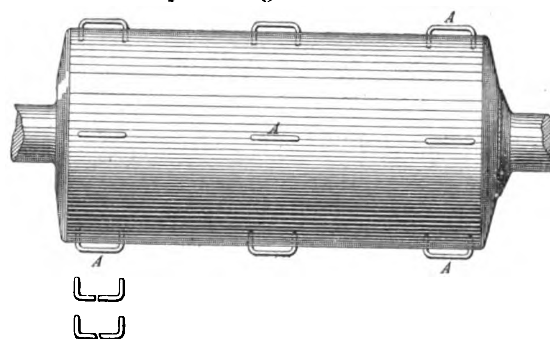


Fig. 15 et 16. — Cales métalliques de MM. Jackson et Lewis destinées à prévenir le déplacement des enroulements induits.

Ces pièces sont de préférence en maillechort, elles pourraient être à la rigueur en fer ou en acier mais elles modifieraient alors la répartition du flux. On peut leur donner telle section droite qu'on veut, la forme la plus convenable est évidemment celle obtenue en découpant ces pièces dans une tôle ce qui a l'avantage de réduire le moins possible la surface de l'induit.

Pour éviter les courants parasites dans les petits ponts en forme d'U ceux-ci peuvent être constitués par deux pièces en forme d'L comme le montre la figure 16.

F. Guilbert.

[1] Brevet anglais, n° 2674, 4 figures. Déposé le 5 février 1896, accordé le 12 décembre 1896.

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE [1]

X. Reprenons dès lors le raisonnement suivi au paragraphe II et écrivons les équations sans répéter des détails qui sont identiquement les mêmes.

Nous avons :

$$E = \rho l u + \mu \frac{d\Phi}{dt}, \tag{53}$$

$$\left.\begin{aligned} &\int_b^a d\sigma = \pi(a^2 - b^2). \\ &\int_b^a E d\sigma = E \int_b^a d\sigma = \pi(a^2 - b^2)\,E. \\ &I = \int_b^a u\, d\sigma, \\ &R = \frac{\rho l}{\pi(a^2 - b^2)}, \end{aligned}\right\} \tag{54}$$

puis :

$$\Phi_m = \frac{1}{\pi(a^2 - b^2)} \int_b^a \Phi\, d\sigma.$$

et :

$$E = RI + \mu \frac{d\Phi_m}{dt}. \tag{55}$$

Il ne reste plus qu'à calculer Φ_m. Posons :

$$u = K \sum_0^\infty r^{2n} [u_n + w_n \log r^2], \tag{56}$$

formule dans laquelle K désigne le facteur défini par l'équation (52) et les w sont une série de paramètres qui seront déterminés par les conditions mêmes de l'intégration. Nous voyons une intégration par parties tout à fait élémentaire que :

$$\int r^{2n} \log r^2\, dr^2 = \frac{r^{2n+2}}{n+1}\left[\log r^2 - \frac{1}{n+1}\right].$$

Or nous avons, en suivant toujours la même marche de calcul que pour le conducteur plein :

$$\Phi = \Phi_a + \int_r^a \frac{2Cl}{r}\, dr, \tag{57}$$

et la valeur de C est évidemment :

$$C = \int_b^r u\, d\sigma = \pi \int_b^r u\, dr^2 = \pi K \sum_0^\infty \int_b^r [u_n r^{2n} dr^2 + w_n r^{2n} \log r^2 dr^2], \tag{58}$$

Ce qu'on peut écrire après intégration :

$$\begin{aligned} C = \pi K \sum_0^\infty \Big\{ \Big[\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2}\Big) r^{2n+2} &+ \frac{w_n}{n+1} r^{2n+2} \log r^2 \Big\} \\ - \pi K \sum_0^\infty \Big\{ \Big(\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2}\Big) b^{2n+2} &+ \frac{w_n}{n+1} b^{2n+2} \log b^2 \Big\}. \end{aligned} \tag{58'}$$

On déduit immédiatement de là l'expression suivante de la valeur de Φ :

$$\begin{aligned} \Phi = \Phi_a + \pi K l \sum_0^\infty \int_r^a \Big\{ \Big(\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2}\Big) r^{2n} dr^2 &+ \frac{w_n}{n+1} r^{2n} \log r^2 dr^2 \Big\} \\ - \pi K l \sum_0^\infty \frac{b^{2n+2}}{n+1}\Big(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\Big) &[\log a^2 - \log r^2]. \end{aligned} \tag{57'}$$

En effectuant les intégrations et ordonnant les termes, il vient :

$$\begin{aligned} \Phi = \Phi_a + \pi K l \sum_0^\infty \Big(\frac{u_n}{(n+1)^2} - \frac{2 w_n}{(n+1)^3} &+ \frac{w_n}{(n+1)^2} \log a^2\Big) a^{2n+2} \\ - \pi K l \sum_0^\infty \Big(u_n - \frac{2 w_n}{n+1}\Big) \frac{r^{2n+2}}{(n+1)^2} & \\ - \pi K \sum_0^\infty \frac{w_n r^{2n+2}}{(n+1)^2} \log r^2 & \\ + \pi K l \sum_0^\infty \frac{b^{2+2}}{n+1}\Big(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\Big) \log r^2 & \\ - \pi K l \log a^2 \sum_0^\infty \frac{b^{2n+2}}{n+1}\Big(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\Big) & \end{aligned} \tag{57}$$

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 27 juin et du 10 juillet, p. 5 et p. 97.

Ce qui peut s'écrire par rapport à la variable r :

$$\Phi = \text{constante} + \pi K l \log r^2 \sum_0^\infty \frac{b^{2n+2}}{n+1} \times \left(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\right) - \pi K l \sum_1^\infty \left(u_{n-1} - \frac{2 w_{n-1}}{n} + w_{n-1} \log r^2\right) \frac{r^{2n}}{n^2}.$$

Or la valeur :

$$E = \rho l u + \mu \frac{d\Phi}{dt}, \quad (53)$$

doit être indépendante de r puisque les sections perpendiculaires à l'axe sont des surfaces équipotentielles. Cette condition s'exprime de la manière suivante :

$$K\rho l \sum_0^\infty r^{2n} [u_n + w_n \log r^2] + \mu\pi K l \log r^2 \frac{d}{dt} \times \sum_0^\infty \frac{b^{2n+2}}{n+1} \left(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\right) + \text{constante} - \mu\pi K l \frac{d}{dt} \sum_1^\infty \left(u_{n-1} - \frac{2 w_{n-1}}{n} + w_{n-1} \log r^2\right) \frac{r^{2n}}{n^2} = 0.$$

Cette identité, qui doit être satisfaite quel que soit r, se dédouble par suite en trois équations de condition :

$$\left.\begin{aligned} &K\rho l w_0 + \mu\pi K l \sum_0^\infty \frac{b^{2n+2}}{n+1} \left(\frac{du_n}{dt} - \frac{1}{n+1} \frac{dw_n}{dt} + \frac{dw_n}{dt} \log b^2\right) = 0. \\ &K\rho l u_n = \frac{\mu\pi K l}{n^2} \left(\frac{du_{n-1}}{dt} - \frac{2}{n} \frac{dw_{n-1}}{dt}\right) \\ &K\rho l w_n = \frac{\mu\pi K l}{n^2} \frac{dw_{n-1}}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (59)$$

On obtient, en différentiant la première de ces équations, la nouvelle égalité :

$$\sum \frac{b^{2n+2}}{n+1} \left(u_n - \frac{w_n}{n+1} + w_n \log b^2\right) = \frac{\rho}{\mu\pi\omega^2} \frac{dw_0}{dt}, \quad (60)$$

Cette condition nous permettra de simplifier l'expression du flux qui deviendra :

$$\Phi = \Phi_a + \pi K l \sum_0^\infty \left(\frac{u_n}{(n+1)^2} - \frac{2 w_n}{(n+1)^3} + \frac{w_n \log a^2}{(n+1)^2}\right) a^{2n+2} \quad (57''')$$
$$- \pi K l \sum_0^\infty \left(\frac{u_n}{(n+1)^2} - \frac{2 w_n}{(n+1)^3} + \frac{w_n \log r^2}{(n+1)^2}\right) r^{2n+2} - \frac{K\rho l}{\mu\omega^2} \frac{dw_0}{dt} [\log a^2 - \log r^2].$$

Il ne nous reste plus qu'à calculer le flux de force moyen, ce qui nous donne l'équation :

$$\Phi_m = \Phi_a + \pi K l \times \sum_0^\infty \left(\frac{u_n}{(n+1)^2} - \frac{2 w_n}{(n+1)^3} + \frac{w_n \log a^2}{(n+1)^2}\right) a^{2n+2} \quad (61)$$
$$- \frac{\pi K l}{a^2 - b^2} \sum_0^\infty \left(\frac{u_n}{(n+1)^2 (n+2)} - \frac{2 w_n}{(n+1)^3 (n+2)}\right) (a^{2n+4} - b^{2n+4})$$
$$+ \frac{K\rho l}{\mu\omega^2} \times \frac{b^2}{a^2 - b^2} \frac{dw_0}{dt} [\log a^2 - \log b^2] - \frac{K\rho l}{\mu\omega^2} \frac{dw_0}{dt}$$
$$- \frac{\pi K l}{a^2 - b^2} \sum_0^\infty \frac{w_n}{(n+1)^2 (n+2)} [a^{2n+4} \log a^2 - b^{2n+4} \log b^2]$$
$$+ \frac{\pi K l}{a^2 - b^2} \sum_0^\infty \frac{w_n}{(n+1)^2 (n+2)^2} (a^{2n+4} - b^{2n+4}).$$

Pour simplifier cette expression et pouvoir poursuivre notre calcul, il est indispensable d'exprimer au moyen des deux dernières conditions (59) tous les u et tous les w en fonction de u_0 et w_0. Puis l'équation (60) nous donnera u_0 en fonction de w_0, de sorte que nous pourrons, en substituant dans l'équation (58') avoir l'expression du courant en fonction de w_0 et de ses dérivées successives par rapport au temps. Comme nous supposons avoir affaire à un courant sinusoïdal, on pourra exprimer le courant C en fonction

de w_0 et $\frac{dw_0}{dt}$ seulement. On posera ensuite dans cette formule :

$$r = a,$$

Ce qui donnera l'expression de l'intensité I en fonction de w_0 et $\frac{dw_0}{dt}$. Il sera dès lors très facile de calculer w_0 en fonction de I et de $\frac{dI}{dt}$. Il ne restera plus qu'à substituer dans l'équation (61) et le problème sera résolu.

La troisième des conditions (59) donne immédiatement :

$$w_n = \frac{\mu\pi}{\rho} \frac{1}{n^2} \frac{dw_{n-1}}{dt} = \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^2 \frac{1}{n^2(n-1)} \frac{d^2 w_{n-2}}{dt^2}.$$

D'où l'expression finale évidente par comparaison avec la formule (17).

$$w_n = \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n!)^2} \frac{d^n w_0}{dt^n}. \qquad (62)$$

La seconde des conditions (59) s'écrit :

$$u_n = \frac{\mu\pi}{\rho} \frac{1}{n^2} \frac{du_{n-1}}{dt} - \frac{2}{n} \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n!)^2} \frac{d^n w_0}{dt^n}.$$

D'où on déduit immédiatement en différentiant, changeant n en $n-1$ et substituant :

$$u_n = \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^2 \frac{1}{n^2(n-1)^2} \frac{d^2 u_{n-2}}{dt^2} - 2\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n-1}\right) \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n!)^2} \frac{d^n w_0}{dt^n}.$$

En continuant de proche en proche le calcul on arrive à l'expression :

$$u_n = \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n!)^2} \left(\frac{d^n u_0}{dt^n} - 2 S_n \frac{d^n w_0}{dt^n}\right), \qquad (63)$$

dans laquelle S_n représente la série :

$$S_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \ldots + \frac{1}{n-1} + \frac{1}{n}, \qquad (64)$$

En substituant ces valeurs dans l'équation (60) il vient :

$$\frac{\rho l}{\mu\pi\omega^2} \frac{dw_0}{dt} = \sum \frac{b^{2n+2}}{n!\,(n+1)!} \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n$$
$$\times \left[\frac{d^n u_0}{dt^n} - \left(2 S_n + \frac{1}{n+1}\right) \frac{d^n w_0}{dt^n} + \frac{d^n w_0}{dt^n} \log b^2\right]. \qquad (60')$$

Si l'on tient compte des relations :

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2 w_0}{dt^2} &= -\omega^2 w_0, \\ \frac{d^2 u_0}{dt^2} &= -\omega^2 u_0, \end{aligned}\right\}$$

on obtient une expression où il n'y a plus de dérivée d'ordre supérieur au premier, mais de forme un peu compliquée. Il est indispensable pour poursuivre les calculs, qui ne présentent d'ailleurs aucune difficulté, de simplifier considérablement l'écriture.

Nous allons poser dans ce but :

$$\left.\begin{aligned} \frac{\mu\pi a^2 \omega}{\rho} &= \alpha, \\ \frac{\mu\pi b^2 \omega}{\rho} &= \beta, \end{aligned}\right\} \qquad (65)$$

$$A = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n+1}}{(2n)!\,(2n+1)!} \qquad A' = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \beta^{2n+1}}{(2n)!\,(2n+1)!}$$

$$B = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \alpha^{2n+2}}{(2n+1)!\,(2n+2)!} \qquad B' = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \beta^{2n+2}}{(2n+1)!\,(2n+2)!} \qquad (66)$$

$$M = 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+1} \alpha^{2n+1}}{(2n)!\,(2n+1)!} \qquad M' = 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+1} \beta^{2n+1}}{(2n)!\,(2n+1)!}$$

$$N = 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+2} \alpha^{2n+2}}{(2n+1)!\,(2n+2)!} \qquad N' = 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+2} \beta^{2n+2}}{(2n+1)!\,(2n+2)!} \qquad (67)$$

et nous désignerons simplement par dA, dB, dM, dN, les *dérivées* de A, B, M, N par rapport à α et par dA', dB', dM', dN' les *dérivées* de A', B', M', N' par rapport à β. Cette convention, qui est contraire aux usages, peut être exceptionnellement admise en raison de ce qu'il n'en saurait résulter aucune confusion et que la simplification qu'elle apporte dans l'écriture est considérable.

Nous avons démontré plus haut que les

séries (66), qui ne sont autres que les séries (27) pour deux valeurs spéciales de la variable, sont absolument et uniformément convergentes. Il importe de faire la même démonstration pour les séries (67).

Formons la somme des séries des modules des termes de M et N. Le terme général de cette nouvelle série sera :

$$\frac{S_{n+1}\,\alpha^{n+1}}{n!\,(n+1)!}.$$

Or, d'après le théorème de la moyenne, on a :

$$\int_1^{n+2}\frac{dx}{x} < S_{n+1} < \int_1^{n+2}\frac{dx}{x} + 1 - \frac{1}{n+1},$$

ce que l'on peut écrire :

$$\log(n+2) < S_{n+1} < \log(n+2) + \frac{1}{n+1}.$$

Or le terme général de la série des modules est égal au terme général de la série e^{α}, multiplié par le facteur $\frac{S_{n+1}}{n!}$.

Ce facteur est d'après le théorème de la moyenne toujours plus petit que :

$$\frac{\log(n+2)}{n!} + \frac{n}{(n+1)!},$$

quantité qui est inférieure à l'unité dès que n est plus grand que 2 et qui tend vers 0 quand n croît indéfiniment.

Il résulte immédiatement de là que la série des modules est uniformément convergente. On en déduit que les séries des modules des termes de M et N, dont tous les termes sont essentiellement positifs, sont aussi uniformément convergentes, et que par conséquent M et N, et par suite aussi M' et N' sont absolument et uniformément convergentes. On peut donc calculer ces séries comme des expressions finies.

Dès lors l'expression (60') devient :

$$\frac{1}{\omega}\frac{dw_0}{dt} = A'u_0 - M'w_0 + A'w_0\log b^2 + w_0 dB' + \frac{1}{\omega}\left[B'\frac{du_0}{dt} - N'\frac{dw_0}{dt} + B'\frac{dw_0}{dt}\log b^2 + (1 - dA')\frac{dw_0}{dt}\right]. \qquad (68)$$

Ce qu'on peut écrire en ordonnant les termes :

$$A'u_0 + \frac{B'}{\omega}\frac{du_0}{dt} = [M' - dB' - A'\log b^2]\,w_0 + \frac{1}{\omega}[N' + dA' - B'\log b^2]\frac{dw_0}{dt}. \qquad (68')$$

En différentiant cette équation par rapport au temps, on obtient la nouvelle équation :

$$\frac{A'}{\omega}\frac{du_0}{dt} - B'u_0 = \frac{1}{\omega}[M' - dB' - A'\log b^2]\frac{dw_0}{dt} - [N' + dA' - B'\log b^2]\,w_0. \qquad (68'')$$

Si l'on ajoute ces deux équations après avoir multiplié les deux membres de la première par A' et les deux membres de la seconde par (— B') on obtient :

$$(A'^2 + B'^2)\,u_0 = W_0[A'M' - A'dB' - A'^2\log b^2 + B'N' + B'dA' - B'^2\log b^2] + \frac{1}{\omega}\frac{dw_0}{dt}[A'N' + A'dA' - B'M' + B'dB'].$$

D'où l'on tire immédiatement la valeur de u_0 :

$$u_0 = \left(\frac{A'M' + B'N'}{A'^2 + B'^2} + \frac{B'dA' - A'dB'}{A'^2 + B'^2} - \log b^2\right)W_0 + \frac{1}{\omega}\left(\frac{A'N' - B'M'}{A'^2 + B'^2} + \frac{A'dA' + B'dB'}{A'^2 + B'^2}\right)\frac{dw_0}{dt}. \qquad (69)$$

Cette expression va nous servir à calculer la valeur de l'intensité.

L'équation (58') devient, en y donnant à r la valeur a :

$$I = \pi K\sum_0^{\infty}\left[\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2} + \frac{w_n}{n+1}\log a^2\right]\times a^{2n+2} - \pi K\sum_0^{\infty}\left[\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2} + \frac{w_n}{n+1}\log b^2\right]\times b^{2n+2}, \qquad (70)$$

ce qui peut s'écrire, d'après (60) :

$$I = \pi K\sum_0^{\infty}\left[\frac{u_n}{n+1} - \frac{w_n}{(n+1)^2} + \frac{w_n}{n+1}\log a^2\right]a^{2n+2} - \frac{K\rho}{\mu\omega^2}\frac{dw_0}{dt}. \qquad (70')$$

Il est bien facile de voir, d'après les conditions posées plus haut, que cette expression de l'intensité peut s'écrire :

$$I = \frac{K\rho}{\mu\omega}\left[A u_0 + \frac{B}{\omega}\frac{du_0}{dt} + (dB - M + A\log a^2) w_0 - \frac{1}{\omega}(dA + N - B\log a^2)\frac{dw_0}{dt}\right]. \quad (70'')$$

Posons, pour simplifier l'écriture :

$$\left.\begin{aligned} M - dB &= P, \\ N + dA &= Q, \end{aligned}\right\} \quad (71)$$

ce qui donne deux nouvelles séries infinies P et Q qui sont évidemment, d'après leur définition même, absolument et uniformément convergentes.

Substituons à u_0 sa valeur (69) et nous obtiendrons :

$$\begin{aligned} I = \frac{K\rho}{\mu\omega}\Bigg\{ & w_0\left(A\frac{A'P' + B'Q'}{A'^2 + B'^2} - A\log b^2 - B\frac{A'Q' - B'P'}{A'^2 + B'^2} + A\log a^2 - P\right) + \frac{1}{\omega}\frac{dw_0}{dt} \\ & \times\left(A\frac{A'Q' - B'P'}{A'^2 + B'^2} + B\frac{A'P' + B'Q'}{A'^2 + B'^2} - B\log b^2 - Q + B\log a^2\right)\Bigg\}. \end{aligned} \quad (70''')$$

Posons encore, toujours dans le but de simplifier l'écriture de ces formules dont l'apparence est un peu complexe, bien qu'elles soient très symétriques :

$$g = A\log\frac{\alpha}{\beta} - P + P'\frac{AA' + BB'}{A'^2 + B'^2} + Q'\frac{AB' - BA'}{A'^2 + B'^2} \quad (72)$$

$$h = B\log\frac{\alpha}{\beta} - Q - P'\frac{AB' - BA'}{A'^2 + B'^2} + Q'\frac{AA' + BB'}{A'^2 + B'^2} \quad (72)$$

Nous aurons finalement :

$$I = \frac{K\rho}{\mu\omega}\left(g w_0 + \frac{h}{\omega}\frac{dw_0}{dt}\right); \quad (70'''')$$

différentions par rapport à t, nous aurons :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{K\rho}{\mu}\left(\frac{g}{\omega}\frac{dw_0}{dt} - h w_0\right).$$

Multiplions cette équation par $(-h)$ et l'équation (70'''') par g et ajoutons; nous aurons finalement la valeur de w_0 et par conséquent de tous nos paramètres u et w :

$$w_0 = \frac{\mu}{K\rho(g^2 + h^2)}\left(\omega g I - h\frac{dI}{dt}\right). \quad (73)$$

Il ne nous reste plus qu'à obtenir la valeur de Φ_m, nous allons d'abord substituer dans l'équation (61) les conditions (62), (63) et (60), ce qui nous donne :

$$\begin{aligned} \Phi_m = \Phi_a &+ \pi K l \sum_0^\infty \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n+1)!^2}\left(\frac{d^n u_0}{dt^n} - 2 S_{n+1}\frac{d^n w_0}{dt^n} + \frac{d^n w_0}{dt^n}\log a^2\right) a^{2n+2} \\ &- \frac{\pi K l}{a^2 - b^2}\sum_0^\infty \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n+1)!\,(n+2)!}\left(\frac{d^n u_0}{dt^n} - 2 S_{n+1}\frac{d^n w_0}{dt^n}\right)(a^{2n+4} - b^{2n+4}) \\ &+ \frac{K\rho l}{\mu\omega^2}\frac{b^2}{a^2 - b^2}\frac{dw_0}{dt}\log\frac{\alpha}{\beta} - \frac{K\rho l}{\mu\omega^2}\frac{dw_0}{dt} \\ &+ \frac{\pi K l}{a^2 - b^2}\sum_0^\infty \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n+2)!^2}\frac{d^n w_0}{dt^n} \times (a^{2n+4} - b^{2n+4}) \\ &- \frac{\pi K l}{a^2 - b^2}\sum_0^\infty \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{1}{(n+1)!\,(n+2)!}\frac{d^n w_0}{dt^n} \times (a^{2n+4}\log a^2 - b^{2n+4}\log b^2). \end{aligned} \quad (61')$$

Exprimons maintenant les séries infinies par leurs valeurs (66), (67) et (71) en tenant compte des relations :

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2 A}{d\alpha^2} &= -\frac{B}{\alpha}, \\ \frac{d^2 B}{d\alpha^2} &= \frac{A}{\alpha}, \end{aligned}\right\} \quad (74)$$

qu'on peut facilement vérifier, soit sur les séries (66) elles-mêmes, soit sur leurs expressions (17') en tenant compte de la condition (40).

Nous obtiendrons ainsi, en faisant toutes

**

les réductions, assez nombreuses, qui se présentent, la valeur plus simple :

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{K\rho l}{\mu\omega}\left[u_0 dB + w_0 \log a^2 dB - \frac{dA}{\omega}\frac{du_0}{dt} - \frac{dA \log a^2}{\omega}\frac{dw_0}{dt} + \frac{dP - \frac{A}{\alpha}}{\omega}\frac{dw_0}{dt} + \left(\frac{B}{\alpha} - dQ\right) w_0\right]$$
$$- \frac{K\rho l}{\mu\omega(\alpha-\beta)}\left[(B - B')u_0 - \frac{A - A'}{\omega}\frac{du_0}{dt} - (Q - Q')w_0 + \frac{P - P'}{\omega}\frac{dw_0}{dt} + (B \log a^2 - B' \log b^2) w_0 - \frac{A \log a^2 - A' \log b^2}{\omega}\frac{dw_0}{dt}\right]. \quad (61'')$$

Substituons à u_0 et $\frac{du_0}{dt}$ dans cette expression leurs valeurs tirées de (69), réduisons les termes semblables et ordonnons; il vient :

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{K\rho l}{\mu\omega}\left\{ w_0 \left(P' \frac{A'dB - B'dA}{A'^2 + B'^2} + Q' \frac{A'dA + B'dB}{A'^2 + B'^2} + dB \log \frac{\alpha}{\beta} + \frac{B}{\alpha} - dQ\right) - \frac{1}{\omega}\frac{dw_0}{dt}\left(P' \frac{A'dA + B'dB}{A'^2 + B'^2} - Q' \frac{A'dB - B'dA}{A'^2 + B'^2} + dA \log \frac{\alpha}{\beta} + \frac{A}{\alpha} - dP\right)\right\}$$
$$- \frac{K\rho l}{\mu\omega(\alpha-\beta)}\left\{ w_0\left(P' \frac{BA' - AB'}{A'^2 + B'^2} + Q' \frac{AA' + BB'}{A'^2 + B'^2} + B \log \frac{\alpha}{\beta} - Q\right) - \frac{1}{\omega}\frac{dw_0}{dt}\left(P' \frac{AA' + BB'}{A'^2 + B'^2} - Q' \frac{BA' - AB'}{A'^2 + B'^2} + A \log \frac{\alpha}{\beta} - P\right)\right\}. \quad (61''')$$

Les coefficients de w_0 et $\frac{dw_0}{dt}$ présentent une grande analogie avec les valeurs (72) de g et h. Cette analogie devient complète si l'on remarque que :

$$\left.\begin{aligned} \frac{d}{dx}\left(A \log \frac{\alpha}{\beta}\right) &= dA \log \frac{\alpha}{\beta} + \frac{A}{\alpha}, \\ \frac{d}{dx}\left(B \log \frac{\alpha}{\beta}\right) &= dB \log \frac{\alpha}{\beta} + \frac{B}{\alpha}. \end{aligned}\right\}$$

L'expression Φ_m peut donc s'écrire très simplement :

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{K\rho l}{\mu\omega}\left(w_0 \frac{dh}{dx} - \frac{1}{\omega}\frac{dg}{dx}\frac{dw_0}{dt}\right) - \frac{K\rho l}{\mu\omega(\alpha-\beta)}\left(h w_0 - \frac{g}{\omega}\frac{dw_0}{dt}\right). \quad (75)$$

Si on remplace w_0 et $\frac{dw_0}{dt}$ par leurs valeurs déduites de l'équation (73), on arrive finalement à l'expression :

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{l}{\omega(\alpha-\beta)}\frac{dI}{dt} - \frac{l}{2\omega}\frac{d}{dx}\log(g^2 + h^2) \times \frac{dI}{dt} + lI \frac{d}{dx} \operatorname{arc\,tang} \frac{h}{g}. \quad (75')$$

Or nous avons d'après (54) et (65) :

$$R = \frac{\rho l}{\pi(a^2 - b^2)} = \frac{\omega\mu l}{\alpha - \beta}.$$

D'où l'on déduit :

$$\frac{l}{\omega(\alpha-\beta)} = \frac{R}{\omega^2\mu},$$

en substituant cette valeur dans (75') après différentiation, on obtient :

$$\mu\frac{d\Phi_m}{dt} = \mu\frac{d\Phi_a}{dt} - RI + \frac{\mu\omega l}{2}\frac{d}{dx}\log(g^2 + h^2) I + \mu l \frac{dI}{dt}\frac{d}{dx}\operatorname{arc\,tang}\frac{h}{g}. \quad (75'')$$

Remplaçons $\mu\frac{d\Phi_m}{dt}$ par cette valeur dans l'équation (55) ; nous aurons pour E la valeur suivante :

$$E = \mu\frac{d\Phi_a}{dt} + \frac{\mu\omega l}{2} I \frac{d}{dx}\log(g^2 + h^2) + \mu l \frac{dI}{dt}\frac{d}{dx}\operatorname{arc\,tang}\frac{h}{g}. \quad (55')$$

Il ne nous reste plus dès lors qu'à calculer la valeur du flux extérieur au conducteur :

Or ce flux est indépendant de la distribution de la densité du courant dans le fil; nous pouvons donc pour le calculer supposer cette densité uniforme ; dans ce cas nous avons :

$$\mu\Phi_m = LI,$$

et, en reprenant la série de nos calculs, qui se simplifie énormément, nous obtenons la

succession suivante d'équations, qui n'a pas besoin d'explications spéciales :

$$u = \mathrm{K}u_0,$$
$$\mathrm{C} = \pi \mathrm{K}u_0 (r^2 - b^2),$$
$$\mathrm{I} = \pi \mathrm{K}u_0 (a^2 - b^2),$$
$$\Phi = \Phi_a + \pi \mathrm{K} l u_0 (a^2 - r^2) - \pi \mathrm{K} l u_0 b^2 (\log a^2 - \log r^2),$$
$$\Phi = \Phi_a + l \frac{a^2 - r^2}{a^2 - b^2} \mathrm{I} - l \frac{b^2 \mathrm{I}}{a^2 - b^2} (\log a^2 - \log r^2).$$
$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{a^2}{a^2 - b^2} l\mathrm{I} - \frac{b^2}{a^2 - b^2} l\mathrm{I} \log a^2 + \frac{l\mathrm{I}}{(a^2 - b^2)^2} \times \int_b^a [b^2 \log r^2 - r^2]\, dr^2.$$

ce qui peut s'écrire en raison de (65) :

$$\Phi_m = \Phi_a + l\mathrm{I}\left[\frac{\alpha - 3\beta}{2(\alpha - \beta)} + \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta}\right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta}\right],$$

et par conséquent :

$$\mu \frac{d\Phi_a}{dt} = \left[\mathrm{L} - \frac{\mu l}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} - \mu l \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta}\right)^2 \times \log \frac{\alpha}{\beta}\right] \frac{d\mathrm{I}}{dt}. \qquad (76)$$

Substituons cette valeur dans l'expression (55′) ; nous aurons :

$$\mathrm{E} = \frac{\mu \omega l}{2} \frac{d}{d\alpha} [\log (g^2 + h^2)] \mathrm{I} + \left[\mathrm{L} - \frac{\mu l}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} - \mu l \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta}\right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta} + \mu l \frac{d}{d\alpha} \operatorname{arc\,tang} \frac{h}{g}\right] \frac{d\mathrm{I}}{dt}. \qquad (77)$$

équation d'où l'on tire immédiatement les valeurs :

$$\mathrm{R}_1 = \mathrm{R} \frac{\alpha - \beta}{2} \frac{d}{d\alpha} \log (g^2 + h^2), \qquad (78)$$
$$\mathrm{L}_1 = \mathrm{L} - \mu l \left(\frac{1}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} + \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta}\right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta} - \frac{d}{d\alpha} \operatorname{arc\,tang} \frac{h}{g}\right). \qquad (78)$$

XI. Ces expressions sont tout à fait comparables à celles (30) que nous avons obtenues pour le conducteur plein. En raison même de la complication des calculs par lesquels nous y sommes parvenus, il est indispensable de faire la vérification qui se présente, c'est-à-dire de s'assurer que les formules (78) tendent vers les formules (30) quand β tend vers o.

Cette vérification ne présente aucune difficulté. Lorsque β est suffisamment petit on peut écrire :

$$g = \mathrm{A} \log \frac{\alpha}{\beta} - \mathrm{P} + \frac{\mathrm{AP}' + \varepsilon}{\mathrm{A}' + \varepsilon'} - \frac{\mathrm{Q'B} + \varepsilon''}{\mathrm{A}' + \varepsilon'''},$$

où les ε sont des quantités du même ordre de petitesse que β. Or, A, B et P sont finis, puisque α a une valeur finie et la limite de Q′ est l'unité. Donc :

$$\beta g = \mathrm{A}\beta \log \frac{\alpha}{\beta} - \mathrm{P}\beta + \beta \frac{\mathrm{AP}' + \varepsilon}{\mathrm{A}' + \varepsilon'} - \frac{\mathrm{B}\beta\mathrm{Q}' + \beta\varepsilon''}{\mathrm{A}' + \varepsilon''},$$

aura pour limite (— B) lorsque β tendra vers o.

On verrait de même que :

$$\lim \beta h = \mathrm{A}.$$

Or :

$$\log (g^2 + h^2) = \log \frac{1}{\beta^2}\left[(\beta g)^2 + \beta(h)^2\right] = -2 \log \beta + \log [(\beta g)^2 + (\beta h)^2].$$

Donc :

$$\frac{d}{d\alpha} \log (g^2 + h^2) = \frac{d}{d\alpha} \log [(\beta g)^2 + (\beta h)^2],$$

et en passant à la limite on a :

$$\lim \frac{d}{d\alpha} \log (g^2 + h^2) = \frac{d}{d\alpha} (\mathrm{A}^2 + \mathrm{B}^2),$$

et par conséquent :

$$\lim \mathrm{R}_1 = \mathrm{R} \frac{\alpha}{2} \frac{d}{d\alpha} (\mathrm{A}^2 + \mathrm{B}^2). \qquad (79)$$

De même, lorsque β tend vers o, $\left(\frac{\beta}{\alpha - \beta}\right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta}$ tend aussi vers o et par conséquent :

$$\lim \mathrm{L}_1 = \mathrm{L} - \mu l \left(\frac{1}{2} + \frac{d}{d\alpha} \operatorname{arc\,tang} \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B}}\right). \qquad (80)$$

Les formules (79) et (80) sont identiques aux formules (30).

XII. Avant de poursuivre l'application de cette formule, cherchons à nous rendre compte de l'approximation qu'on obtiendrait en considérant le conducteur annulaire de rayons a

et b, isolé par la pensée dans un conductenr plein de rayon a.

Nous avons pour la densité de courant la formule :

$$u = \sum_0^\infty u_n r^{2n},$$

pour le courant l'expression :

$$C = \pi \int_0^r u dr^2 = \pi \sum_0^\infty \frac{u_n r^{2n+2}}{n+1}, \qquad (14)$$

et pour le flux l'équation :

$$\Phi = \Phi_a + \pi l \sum_0^\infty \frac{u_n}{(n+1)^2} (a^{2n+2} - r^{2n+2}). \qquad (15')$$

Pour le conducteur annulaire que nous isolons par la pensée, on a :

$$\Phi_m = \frac{1}{a^2 - b^2} \int_b^a \Phi dr^2,$$

par conséquent

$$\Phi_m = \Phi_a + \pi l \sum_0^\infty \frac{u_n a^{2n+2}}{(n+1)^2} - \frac{\pi}{a^2 - b^2} \times \sum_0^\infty \frac{u_n (a^{2n+4} - b^{2n+4})}{(n+1)^2 (n+2)}.$$

D'ailleurs la valeur (17) de u_n subsiste, de telle sorte que le flux moyen peut s'écrire

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{\rho l}{\mu \omega} \left[d\mathrm{B} - \frac{\mathrm{B} - \mathrm{B}'}{\alpha - \beta} u_0 - \frac{1}{\omega} \left(d\mathrm{A} - \frac{\mathrm{A} - \mathrm{A}'}{\alpha - \beta} \right) \frac{du_0}{dt} \right].$$

Or l'intensité dans le conducteur annulaire a pour valeur

$$\mathrm{I} = \mathrm{C}_b^a = \pi \sum_0^\infty \frac{u_n (a^{2n+2} - b^{2n+2})}{n+1}.$$

ce qu'on peut écrire

$$\mathrm{I} = \frac{\rho l}{\mu \omega} \left((\mathrm{A} - \mathrm{A}') u_0 + \frac{\mathrm{B} - \mathrm{B}'}{\omega} \frac{du_0}{dt} \right).$$

On tire de là par la méthode que nous avons employée à plusieurs reprises

$$\frac{\rho}{\mu \omega} u_0 = \frac{(\mathrm{A} - \mathrm{A}') \mathrm{I} - \frac{\mathrm{B} - \mathrm{B}'}{\omega} \frac{d\mathrm{I}}{dt}}{(\mathrm{A} - \mathrm{A}')^2 + (\mathrm{B} - \mathrm{B}')^2}.$$

Par conséquent

$$\Phi_m = \Phi_a + \frac{\rho l}{\mu \omega} \left(u_0 d\mathrm{B} - \frac{d\mathrm{A}}{\omega} \frac{du_0}{dt} \right) + \frac{l\mathrm{I}}{\omega (\alpha - \beta)}.$$

Or on a

$$\mathrm{R} = \frac{\omega \mu l}{(\alpha - \beta)},$$

et

$$\mu \Phi_a = \left[\mathrm{L} - \frac{\mu l}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} - \mu l \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta} \right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta} \right] \mathrm{I}.$$

Donc la formule qui donne la force électromotrice est

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{R}(\alpha - \beta)}{2} \mathrm{I} \frac{d}{d\alpha} \log [(\mathrm{A} - \mathrm{A}')^2 + (\mathrm{B} - \mathrm{B}')^2] + \left[\mathrm{L} - \frac{\mu l}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} - \mu l \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta} \right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta} - \mu l \frac{d}{d\alpha} \operatorname{arc\,tang} \frac{\mathrm{A} - \mathrm{A}'}{\mathrm{B} - \mathrm{B}'} \right] \frac{d\mathrm{I}}{dt}.$$

De telle sorte que nous aurons pour ce conducteur annulaire isolé fictivement

$$\mathrm{R}'_1 = \mathrm{R} \frac{\alpha - \beta}{2} \frac{d}{d\alpha} \log [(\mathrm{A} - \mathrm{A}')^2 + (\mathrm{B} - \mathrm{B}')^2], \qquad (81)$$

$$\mathrm{L}'_1 = \mathrm{L} - \mu l \left[\frac{1}{2} \frac{\alpha - 3\beta}{\alpha - \beta} + \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta} \right)^2 \log \frac{\alpha}{\beta} + \frac{d}{d\alpha} \operatorname{arc\,tang} \frac{\mathrm{A} - \mathrm{A}'}{\mathrm{B} - \mathrm{B}'} \right]. \qquad (81)$$

Ces formules sont beaucoup plus simples que les formules (78), mais cette simplicité même prouve qu'elles ne leur sont point équivalentes et quelques exemples numériques que nous donnerons plus loin montreront qu'elles donnent des résultats sensiblement différents.

(*A suivre.*)

E. Brylinsky,
Ingénieur des Télégraphes.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LES PROPRIÉTÉS DES RAYONS X

1. Entre un tube à décharges, qui émet des rayons X intenses [1] et un écran fluorescent, on dispose une plaque non transparente qui porte ombre sur la totalité de l'écran; dans ces conditions on peut encore voir le platinocyanure de baryum devenir lumineux. Cette illumination est encore visible quand l'écran repose directement sur la plaque et on est porté au premier coup d'œil à croire que la plaque est transparente. Mais si l'on couvre l'écran, posé sur la plaque, d'un disque de verre épais, la fluorescence s'affaiblit beaucoup; elle disparaît complètement quand, au lieu de prendre une lame de verre, on entoure l'écran d'une feuille de plomb de 0,1 cm d'épaisseur, formant un cylindre fermé à une extrémité par la plaque non transparente et à l'autre par la tête de l'observateur.

Le phénomène décrit pourrait être causé par une diffraction de rayons de très grande longueur d'onde; il se pourrait aussi que des rayons X émanent des corps qui environnent le tube à décharges, en particulier de l'air atmosphérique.

La seconde explication est la vraie; on le démontre aisément avec l'appareil suivant. La figure 1 représente une cloche de verre à parois très épaisses, de 20 cm de haut et de 10 cm de diamètre, fermée par une plaque de zinc épaisse mastiquée. En 1 et 2 sont placées des lames de plomb en forme de segment de cercle, qui sont un peu plus grandes que la moitié de la section de la cloche; elles empêchent les rayons X, qui pénètrent dans la cloche par une ouverture pratiquée dans la plaque de zinc et fermée par une pellicule de celluloïd, d'atteindre directement l'espace qui s'étend au-dessus de la plaque 2. Sur la face supérieure de cette lame de plomb est fixé un petit écran en platinocyanure de baryum, qui occupe presque totalement la section de la cloche. Cet écran ne peut être atteint, ni par les rayons directs, ni par ceux qui ont subi une seule réflexion diffuse sur un corps

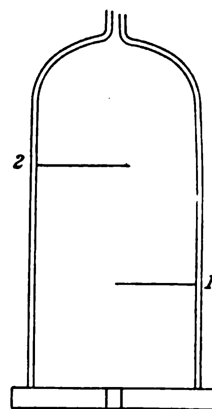


Fig. 1.

solide (la paroi de verre par exemple). Avant chaque expérience on remplit la cloche d'air purgé de poussières. Quand on laisse entrer des rayons X dans la cloche en les faisant d'abord tomber tous sur l'écran de plomb 1, on ne voit aucune fluorescence en 2; mais si, en inclinant la cloche, on laisse des rayons pénétrer dans l'espace compris entre 1 et 2, l'écran fluorescent s'illumine sur la moitié qui n'est pas protégée par la feuille de plomb. En mettant la cloche en communication avec une trompe à eau, on voit la fluorescence s'affaiblir graduellement, à mesure que le vide augmente; quand on laisse rentrer l'air, l'intensité croît de nouveau.

Comme j'ai constaté d'autre part que le simple contact avec de l'air qui vient d'être exposé aux rayons n'excite aucune fluorescence sensible du platinocyanure de baryum, il faut conclure de l'expérience précédente que l'air, pendant qu'il est traversé par les

[1] Tous les tubes dont il est question dans la présente communication ont été construits d'après le principe indiqué au § 20 de ma deuxième communication (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 56). Une grande portion a été fournie par la maison Greiner et Friedrichs, de Stützerbach, qui a mis gracieusement à ma disposition un matériel très riche; je lui adresse, ici, mes remerciements publics.

rayons X, envoie dans toutes les directions des rayons X.

Si notre œil était aussi sensible aux rayons X qu'à la lumière, un tube à décharges en activité nous présenterait le même aspect qu'une lumière brûlant dans une salle uniformément remplie de fumée de tabac; peut-être les rayons directs et ceux qui proviennent des particules d'air auraient-ils des couleurs différentes.

Quant à cette question : Les rayons qui tombent sur un corps font-ils naître des rayons de même nature? en d'autres termes : Est-ce dans un phénomène analogue à la réflexion diffuse ou à la fluorescence qu'on doit chercher l'origine de ces rayons? je n'ai pas encore pu la trancher; l'activité photographique des rayons qui émanent de l'air est facile à mettre en évidence; elle se manifeste même souvent d'une façon assez fâcheuse pour l'expérimentateur. Pour se mettre à l'abri, ce qui, en particulier, est souvent nécessaire quand on prolonge le temps de pose, on devra enfermer la plaque photographique à l'intérieur d'enveloppes de plomb appropriées.

2. Pour comparer l'intensité des rayons de deux tubes à décharges et dans diverses autres expériences, j'ai employé un dispositif imité du photomètre de Bouguer, auquel je conserverai, pour plus de simplicité, le nom de photomètre.

Une lame de plomb rectangulaire de 35 cm de haut, 150 cm de long et 0,15 cm d'épaisseur supportée par un bâti de bois, est disposée verticalement au milieu d'une table longue. De chaque côté se trouve un tube à décharges qu'on peut déplacer sur la table. A l'une des extrémités de la bande de plomb est un écran fluorescent [1] disposé de telle façon que chacune de ses moitiés reçoive normalement des rayons provenant d'un seul tube. Dans les mesures on amène les deux parties de l'écran au même éclat.

Quelques observations sur l'emploi de cet instrument doivent trouver place ici. Il faut noter d'abord que l'expérience est rendue difficile par les variations de la source de rayons; le tube réagit sur toutes les irrégularités d'interruption du courant primaire, qui se produisent avec l'interrupteur de Deprez et surtout celui de Foucault. Il est nécessaire de répéter plusieurs fois chaque réglage. De plus je voudrais indiquer les causes dont dépend l'éclat d'un écran fluorescent donné, qui reçoit des rayons X se succédant assez rapidement pour que l'œil de l'observateur ne perçoive plus l'intermittence de l'illumination. Cet éclat dépend : 1° de l'intensité de la radiation émise par la lame de platine du tube à décharges; 2° très probablement de l'espèce de rayons qui tombent sur l'écran, car toutes les espèces de rayons (voir plus bas) n'excitent pas la fluorescence avec la même intensité; 3° de la distance de l'écran au centre d'émission des rayons; 4° de l'absorption que subissent ces rayons dans leur trajet jusqu'au platinocyanure; 5° du nombre des décharges dans une seconde; 6° de la durée de chaque décharge séparée; 7° de la durée et de l'intensité de l'illumination résiduelle du platinocyanure de baryum; et 8° de l'envoi de rayons sur l'écran par les corps qui environnent le tube à décharges. Pour éviter les erreurs, on ne devra pas perdre de vue que, dans l'ensemble, les phénomènes sont les mêmes que si l'on comparait, à l'aide de la fluorescence, deux sources intermittentes, diversement colorées, entourées d'une enveloppe absorbante et placées dans un milieu trouble ou fluorescent.

3. D'après le § 12 de ma première communication, la région du tube à décharges atteinte par les rayons cathodiques est le point de départ des rayons X, qui se propagent de là « dans toutes les directions ». Il est intéres-

[1] Dans ces expériences, et celles qui suivent, l'écran florescent d'Edison m'a rendu de grands services. Il consiste en une boîte, ayant la forme d'un stéréoscope, qui peut s'appliquer exactement contre la tête de l'observateur; le fond est en carton couvert de platinocyanure de baryum. Édison emploi au lieu de platinocyanure de baryum, de la scheelite; mais je préfère le premier corps, pour beaucoup de raisons.

sant de rechercher comment l'intensité des rayons varie avec la direction.

Pour cette expérience, les tubes les plus commodes sont ceux qui ont la forme d'une sphère contenant une lame de platine rendue bien plane par polissage, que les rayons cathodiques frappent sous un angle de 45°. Déjà, du seul aspect de la fluorescence d'éclat uniforme que présente la paroi de verre hémisphérique placée en avant de la lame de platine, on croit pouvoir déduire qu'il n'y a pas de très grandes différences d'intensité dans les différentes directions et que par suite la loi d'émission de Lambert ne peut s'appliquer ici ; mais il se pourrait que cette fluorescence fût due pour la plus grande partie aux rayons cathodiques.

Pour faire une étude plus précise, j'ai déterminé au photomètre sur plusieurs tubes, l'intensité du rayonnement dans diverses directions ; dans le même but j'ai également exposé des pellicules photographiques, qui formaient autour de la lame de platine du tube à décharges comme centre, un demi-cercle de 25 cm de rayon. Dans les deux procédés, l'inégalité d'épaisseur des différentes parties de la paroi de verre crée une perturbation considérable en causant une inégale absorption des rayons X qui partent dans les différentes directions. Toutefois on peut arriver, en interposant des lames de verre minces, à rendre assez uniforme l'épaisseur de verre traversée par les rayons.

Il résulte de ces expériences que, sur un hémisphère ayant pour centre la lame de platine, l'intensité est à peu près uniforme jusqu'au cercle de base. Ce n'est que sous un angle d'émission de 80° environ des rayons X que j'ai pu observer un commencement d'affaiblissement de la radiation, très peu marqué d'ailleurs, de sorte que la variation principale d'intensité se produit entre 89° et 90°.

Aucune différence de nature entre les rayons émis sous des angles différents n'a pu être notée.

Par suite de la répartition d'intensité des rayons X qui vient d'être indiquée, les images de la lame de platine qu'on obtient, dans la chambre obscure, avec un trou ou une fente étroite, sur un écran fluorescent ou sur la plaque photographique sont d'autant plus intenses que la lame de platine forme un plus grand angle avec l'écran ou avec la plaque photographique, à condition que cet angle ne dépasse pas 80°. J'ai pu vérifier cette conséquence à l'aide d'un dispositif approprié qui permet de comparer entre elles les images obtenues simultanément sous des angles différents avec un même tube à décharges.

Un cas analogue de répartition dans l'intensité des rayons émis se rencontre en optique dans la fluorescence. Quand on laisse tomber quelques gouttes d'une dissolution de fluorescéine dans une cuve rectangulaire remplie d'eau, qu'on éclaire par de la lumière blanche ou violette, on observe que la fluorescence la plus vive apparait sur les bords des filets de fluorescéine qui s'enfoncent lentement, c'est-à-dire aux points où la lumière est émise par fluorescence sous l'angle maximum. Comme l'a déjà remarqué M. Stokes à propos d'une expérience analogue, le phénomène provient de ce que les rayons qui excitent la fluorescence de la solution de fluorescéine sont beaucoup plus fortement absorbés que la lumière émise par fluorescence. Il est très remarquable que les rayons cathodiques, qui donnent naissance aux rayons X, soient aussi beaucoup plus fortement absorbés par le platine que les rayons X ; ce rapprochement rend probable l'existence d'une parenté entre les deux phénomènes, transformation de la lumière par fluorescence et transformation des rayons cathodiques en rayons X. Aucune preuve déterminante en faveur de cette hypothèse ne s'est toutefois présentée jusqu'ici.

Au point de vue de la technique de la production des silhouettes au moyen des rayons X, les observations relatives à la répartition des intensités des rayons émanant de la lame de platine ont une certaine significa-

tion. D'après ce qui précède, il sera bon de disposer les tubes de décharge de façon que les rayons qui concourent à la formation de l'image partent du platine sous un angle aussi grand que possible, quoique peu supérieur à 80° ; on obtient ainsi la plus grande netteté des images et, si la lame de platine est bien plane et la construction des tubes telle que les rayons émis obliquement n'aient pas à traverser de paroi de verre notablement plus épaisse que ceux qui partent normalement de la lame de platine, cette disposition ne diminue en rien l'intensité du rayonnement qui tombe sur l'objet.

4. Par « transparence d'un corps » j'entendais, dans ma première communication, le rapport de l'éclat que prend un écran fluorescent quand on le place immédiatement derrière le corps à l'éclat qu'il présente, toutes choses égales d'ailleurs, quand le corps n'est pas interposé. La transparence spécifique d'un corps sera la transparence du corps rapportée à l'unité d'épaisseur ; cette quantité est la racine $d^{ième}$ de la transparence, si d représente l'épaisseur de la couche traversée par les rayons, mesurée dans la direction des rayons.

Pour déterminer la transparence, j'ai employé surtout, depuis ma première communication, le photomètre décrit plus haut. Devant l'une des moitiés, rendues également lumineuses, de l'écran, on interposait le corps étudié sous forme de lame — aluminium, papier d'étain, verre, etc. —, on compensait l'inégalité d'éclat résultante soit en éloignant le tube à décharges qui rayonne sur la moitié de l'écran restée découverte, soit en rapprochant l'autre. Dans les deux cas le rapport, convenablement pris, des carrés des distances de la lame de platine du tube à décharges à l'écran, avant et après le déplacement de l'appareil, représente la valeur cherchée de la transparence du corps en expérience, Les deux procédés ont fourni les mêmes résultats. En ajoutant une seconde lame à la première, on trouve de la même façon la transparence de cette seconde lame pour des rayons qui ont déjà traversé une lame.

Le procédé que je viens de décrire suppose que l'éclat d'un écran fluorescent est inversement proportionnel au carré de sa distance à la source des rayons, ce qui n'est exact que si, d'une part, l'air n'absorbe ni n'émet de rayons X et si, d'autre part, l'éclat de la fluorescence est proportionnel à l'intensité du rayonnement, pour des rayons de même nature. La première condition n'est certainement pas remplie; sur la seconde, nous ne savons rien; aussi me suis-je assuré d'abord par des expériences, telles que celles déjà décrites au § 10 de ma première communication, que la loi de proportionnalité se vérifie avec une approximation suffisante pour qu'on puisse négliger les écarts dans le cas actuel. Quant au fait que les corps qui reçoivent des rayons émettent à leur tour des rayons X, je dois dire d'abord que le photomètre n'a pu montrer aucune différence entre la transparence d'une lame d'aluminium de 0,925 mm et celle de 31 feuilles d'aluminium superposées de 0,0299 d'épaisseur ($31 \times 0,0299 = 0,927$), et ensuite qu'en appliquant la lame contre l'écran ou en la maintenant à grande distance on ne produisait pas de variation sensible dans l'éclat de la fluorescence.

Voici le résultat de ces expériences de transparence pour l'aluminium :

TRANSPARENCE A DES RAYONS TOMBANT NORMALEMENT

Plaque d'aluminium.	Épaisseur.	Tube 2.	Tube 3.	Tube 4.	Tube 2.
1re	1 mm	0,40	0,45	—	0,68
2e	1 »	0,55	0,68	—	0,73
1re	2 »	—	0,30	0,39	0,50
2e	2 »	—	0,39	0,54	0,63

Ces expériences et d'autres semblables faites sur le verre et le papier d'étain conduisent d'abord à cette conclusion : si l'on imagine le corps étudié divisé en couches d'égale épaisseur, perpendiculaires aux rayons parallèles, chacune de ces couches est plus transparente pour les rayons qui la pénètrent que la précédente, ou en d'autres

termes : la transparence spécifique d'un corps est d'autant plus grande que le corps considéré est plus épais.

5. Ce résultat est parfaitement d'accord avec ce que l'on peut observer sur la photographie de l'échelle de papier d'étain dont j'ai parlé au § 4 de ma première communication et aussi avec le fait que, sur les images photographiques, l'ombre d'objets très minces, tels que le papier qui sert à envelopper la plaque, apparaît parfois très nettement.

Quand deux lames de matière différente ont une transparence égale, cette égalité ne subsiste pas d'ordinaire si, toutes choses égales d'ailleurs, on change les épaisseurs des lames dans le même rapport. Le fait se démontre de la façon la plus simple à l'aide de deux échelles de platine et d'aluminium juxtaposées. J'ai employé des feuilles de platine de 0,0026 mm et des feuilles d'aluminium de 0,0299 mm. En plaçant la double échelle devant l'écran fluorescent ou devant une plaque photographique et l'exposant aux rayons j'ai trouvé par exemple, dans un cas, qu'une épaisseur de platine était aussi transparente que six épaisseurs d'aluminium; mais la transparence de deux épaisseurs de platine égalait celle non pas de douze, mais de seize épaisseurs d'aluminium. En employant un autre tube j'ai trouvé que 1 platine = 8 aluminium, mais 8 platine = 90 aluminium. Il résulte de ces expériences que le rapport des épaisseurs de platine et d'aluminium de même transparence est d'autant plus petit que les couches correspondantes sont épaisses.

6. Le rapport des épaisseurs de deux lames également transparentes, de matière différente, dépend de l'épaisseur et de la nature des corps — par exemple la paroi de verre de l'appareil de décharge — que les rayons ont à traverser avant d'atteindre les lames étudiées.

Ce résultat — qui, d'après le contenu des § 4 et 5, n'a rien d'inattendu — peut se démontrer à l'aide d'un dispositif que j'appelle fenêtre platine-aluminium et qui, comme nous le verrons, peut servir à d'autres usages. Sur un écran de papier mince on a collé une feuille de platine rectangulaire (4,0 cm × 6,5 cm) de 0,0026 mm d'épaisseur, dans laquelle on a pratiqué à l'emporte-pièce, 15 trous ronds, de 0,7 cm de diamètre, répartis sur trois rangées. Ces petites fenêtres sont fermées par de petits disques d'aluminium de 0,0299 mm d'épaisseur s'adaptant exactement et soigneusement appliqués les uns sur les autres, de telle sorte qu'il y ait un disque dans la première fenêtre, deux dans la seconde, etc., et finalement quinze dans la quinzième. En plaçant cet appareil devant l'écran fluorescent, on reconnait très nettement, surtout avec des tubes pas trop *durs* (voir plus bas), combien de feuilles d'aluminium superposées sont aussi transparentes que la feuille de platine. C'est ce nombre que, nous appellerons numéro de fenêtre (*Fensternummer*).

Le numéro de fenêtre obtenu dans un cas où les rayons tombaient directement a été le chiffre 5; en interposant une lame de verre de soude *ordinaire* de 2 mm d'épaisseur on a trouvé pour le numéro de fenêtre 10; ainsi le rapport des épaisseurs de feuilles de platine et d'aluminium d'égale transparence s'est trouvé réduit de moitié parce qu'au lieu de venir directement du tube à décharges, les rayons que j'employais avaient traversé une lame de verre de 2 mm d'épaisseur; q. e. d.

L'expérience suivante mérite aussi d'être mentionnée à cette place. La fenêtre platine-aluminium fut placée sur un petit paquet qui contenait 12 pellicules photographiques et exposée aux rayons; après le développement, la première feuille placée sur la fenêtre donna le numéro 10, la douzième le numéro 13 et les autres une suite régulière de chiffres compris entre 10 et 13.

7. Les expériences décrites dans les §§ 4, 5 et 6 se rapportent aux modifications que les rayons X sortant d'un tube subissent dans leur passage à travers différents corps. On va montrer maintenant qu'un seul et même corps, traversé par les rayons sous une même

***

épaisseur peut-être différemment transparent à des rayons unis par des tubes différents.

Dans ce but on a inscrit dans le tableau suivant les valeurs de la transparence d'une lame d'aluminium de 2 mm d'épaisseur à des rayons produits par différents tubes. Quelques-unes de ces valeurs sont empruntées au premier tableau (page 160).

TRANSPARENCE D'UNE LAME D'ALUMINIUM DE 2 MM D'ÉPAISSEUR PAR DES RAYONS TOMBANT NORMALEMENT

Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Tube 2	Tube 5
0,0044	0,22	0,30	0,39	0,50	0,59

Les tubes à décharge ne diffèrent pas essentiellement par leur construction ou par l'épaisseur de la paroi de verre, mais surtout par le degré de raréfaction du gaz qu'ils renferment et le potentiel nécessaire au passage de la décharge; le tube 1 réclame le potentiel explosif le plus faible, le tube 5 le potentiel le plus élevé; nous dirons, pour abréger, que le tube 1 est le plus doux (*weichste*), le tube 5 le plus dur (*harteste*). La même bobine — reliée directement aux tubes — et le même interrupteur ont servi dans tous les cas, avec la même intensité du courant primaire.

Tous les autres corps, en grand nombre, que j'ai étudiés se comportent comme l'aluminium; ils sont tous plus transparents aux rayons d'un tube dur qu'à ceux d'un tube doux [1]. Ce fait me semble mériter une attention particulière.

Le rapport des épaisseurs de deux lames également transparentes de corps différents apparaît aussi comme dépendant de la dureté du tube à décharges que l'on emploie. C'est ce qu'on reconnaît immédiatement avec la fenêtre platine-aluminium (§ 5); un tube très doux donne par exemple, le numéro 2, tandis que pour des tubes très durs, de construction semblable, l'échelle qui monte jusqu'à 15 est insuffisante. Ceci veut dire que le rapport des épaisseurs de platine et d'aluminium de même transparence est d'autant plus petit que les tubes producteurs de rayons sont plus durs ou — en tenant compte du résultat énoncé plus haut — que les rayons sont moins absorbables.

Les différences de propriétés des rayons engendrés dans des tubes de dureté différente apparaissent aussi très clairement sur les silhouettes des mains, etc. Avec un tube très doux on obtient des images obscures sur lesquelles les os ressortent mal; en employant un tube plus dur, les os deviennent très nets et visibles dans tous leurs détails, au contraire les parties molles s'affaiblissent et avec un tube très dur on n'obtient des os eux-mêmes que des ombres faibles. Il résulte de ce qu'on vient de dire qu'on doit, dans le choix du tube à employer, se guider sur la constitution de l'objet à reproduire.

8. Il faut encore mentionner que la qualité des rayons fournis par un seul et même tube dépend de diverses circonstances. L'emploi de la fenêtre platine-aluminium montre l'influence qu'exercent : 1° La façon dont fonctionne l'interrupteur de Deprez ou de Foucault [1] de la bobine d'induction, c'est-à-dire la forme du courant primaire (c'est à cela que tient un phénomène qu'on observe fréquemment : quelques-unes des décharges qui se succèdent rapidement engendrent des rayons X qui non seulement sont particulièrement intenses mais encore se distinguent des autres par la façon dont ils sont absorbés); 2° Une distance explosive qu'on introduit dans le circuit secondaire avant le tube à décharges; 3° L'intercalation d'un transformateur de Tesla; 4° Le degré de vide du tube (voir plus haut); 5° Divers phénomènes encore insuffisamment étudiés qui se produisent à l'intérieur des tubes. Certains de ces facteurs méritent d'être examinés de plus près.

Prenons un tube neuf dans lequel on n'a pas fait le vide et relions-le à la pompe à

(1) Voir plus bas ce qui concerne les tubes « anormaux ».

(1) Un bon interrupteur Deprez fonctionne plus régulièrement qu'un interrupteur de Foucault, mais le second utilise mieux le courant primaire.

mercure ; en pompant convenablement et chauffant le tube nous atteindrons un degré de vide auquel les premiers rayons X se manifestent par un faible éclairement d'un écran fluorescent très voisin. Un micromètre à étincelles mis en dérivation sur le tube, fournit des étincelles de quelques millimètres de longueur; la fenêtre platine-aluminium donne des numéros très bas, les rayons sont très absorbables. Le tube est « très doux ». Si l'on met en série une distance explosive ou si l'on intercale un transformateur de Tesla (1), il se produit des rayons plus intenses et moins absorbables. J'ai ainsi trouvé dans un cas par exemple, qu'en allongeant la distance explosive on peut faire monter le numéro de fenêtre progressivement de 2,5 à 10.

Ces observations m'ont conduit à me demander si, à des pressions encore plus élevées, on ne continuerait pas, en employant un transformateur de Tesla, à obtenir des rayons X. C'est ce qui a lieu en effet : avec un tube très étroit dont les électrodes sont des fils de métal, j'ai encore pu obtenir des rayons X alors que la pression de l'air intérieur atteignait 3,1 mm. Si l'on prend de l'hydrogène au lieu d'air, la pression peut être encore plus élevée. Quant à la pression la plus faible à laquelle les rayons X puissent se produire, je n'ai pas pu la déterminer; elle est certainement inférieure à 0,0002 mm de mercure, de sorte que les limites de pression entre lesquelles les rayons X peuvent prendre naissance sont déjà très étendues.

En augmentant la raréfaction dans le tube « très doux » — relié directement à la bobine — on voit le rayonnement devenir plus intense en même temps qu'une fraction plus considérable traverse les corps sur lesquels il tombe; une main tenue devant l'écran fluorescent est plus transparente que précédemment et la fenêtre platine-aluminium donne des numéros plus élevés. En même temps on a dû accroître la distance explosive mise en dérivation, pour faire passer la décharge par le tube : le tube est devenu « plus dur ». Si l'on continue à pomper, le tube devient tellement « dur » que la distance explosive doit dépasser 20 cm et il émet des rayons auxquels les corps sont d'une transparence extraordinaire : les lames de fer de 4 cm d'épaisseur, étudiées avec l'écran fluorescent, ont encore présenté de la transparence.

Telle est la façon dont se comporte normalement un tube relié directement à la pompe à mercure et à la bobine; des infractions à cette règle, qui ont pour cause les décharges elles-mêmes, se produisent fréquemment. Très souvent il est complètement impossible de rendre compte des propriétés qu'acquiert un tube.

Nous avons considéré qu'un tube devient dur quand on raréfie l'air d'une façon prolongée avec la pompe; le même résultat peut être atteint d'une autre façon. Ainsi un tube de dureté moyenne, séparé de la pompe, acquiert de lui-même et progressivement de la dureté — aux dépens de sa durée — quand on l'emploie à la production des rayons X dans des conditions convenables, c'est-à-dire en y lançant des décharges qui ne produisent qu'une incandescence faible ou nulle du platine. Il se produit une raréfaction progressive et spontanée. Avec un tube ainsi devenu très dur j'ai obtenu, du double canon d'un fusil de chasse, muni de cartouches, une très belle silhouette photographique, dans laquelle tous les détails des cartouches, les défauts intérieurs des canons damasquinés, etc., sont très nets et très fins (fig. 2 et 3). La distance de la lame de platine du tube à décharge à la plaque photographique était de 15 cm ; la durée de l'exposition, 12 minutes, a été relativement longue parce que les rayons, étant moins absorbables, agissent moins énergiquement sur la plaque (voir plus

(1) La similitude d'action d'une distance explosive en série et d'un transformateur Tesla intercalé a été signalée dans l'édition française de ma deuxième communication (*Archives des Sciences physiques*, etc., de Genève, 1896) ; dans l'édition allemande, cette remarque a été omise par mégarde.

bas). L'interrupteur de Deprez a dû être remplacé par celui de Foucault. Il y aurait intérêt à construire des tubes qui permettent d'employer des potentiels de décharge encore plus élevés qu'on n'a pu le faire jusqu'ici.

Une des causes qui rendent plus dur un tube séparé de la pompe est, comme on l'a dit plus haut, la raréfaction spontanée consécutive aux décharges ; cependant ce n'est pas la seule cause; il se produit aussi sur les électrodes des modifications qui ont le même effet. En quoi consistent-elles, c'est ce que j'ignore.

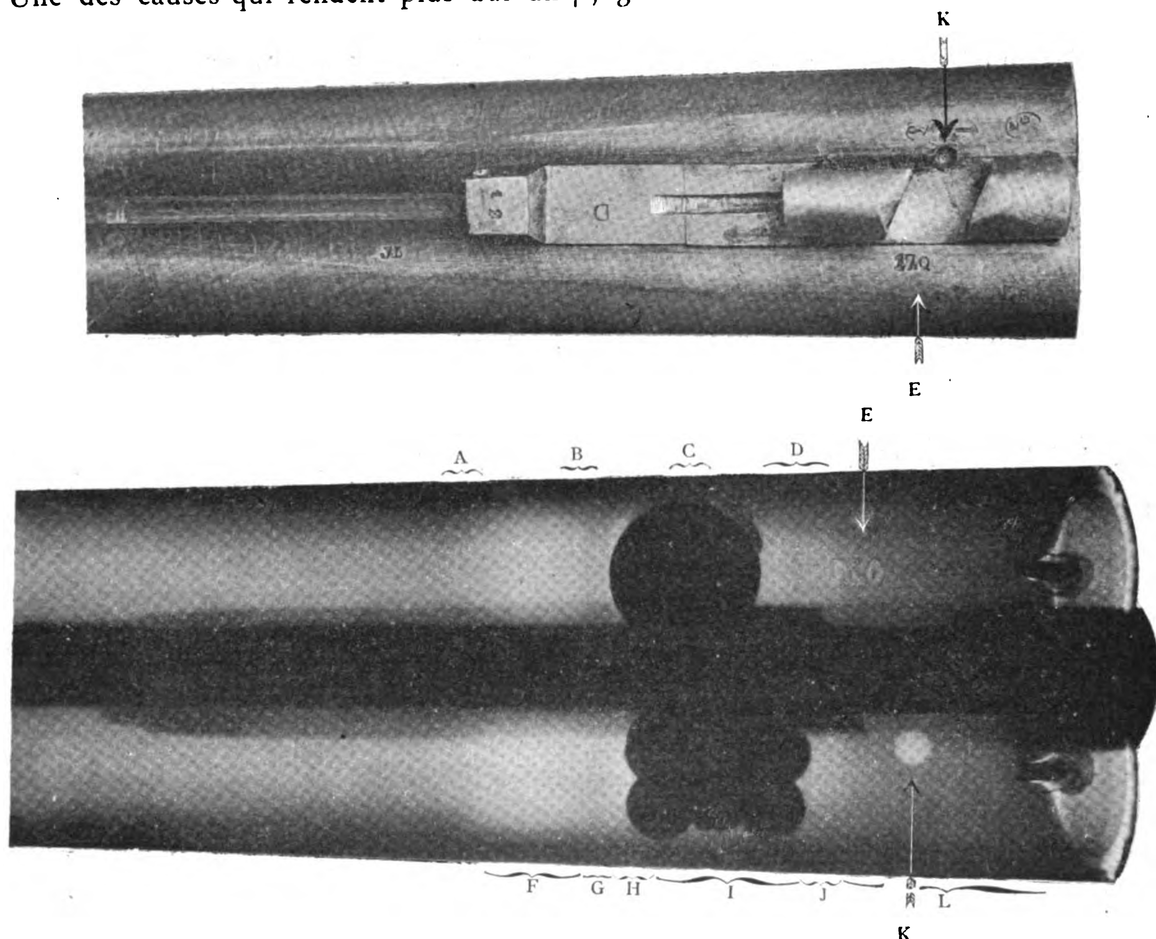


Fig. 2 et 3. — Photographie (3/4 grandeur nature) et radiographie d'un fusil Lefaucheux chargé.

LÉGENDE : A, partie correspondant au changement d'épaisseur du canon. — B, deux rondelles fermant la cartouche. — C, balle. — D, deux bourres. — E, numéro poinçonné. — F, défauts du damasquinage. — G, une rondelle. — H, une bourre. — I, 9 petites balles. — J, une bourre. — K, perforation du canon. — L, poudre.

Quand un tube est devenu trop dur, on peut le rendre plus doux en laissant rentrer de l'air, souvent aussi en le chauffant ou en renversant la direction du courant et finalement en y faisant passer des décharges très fortes. Mais, dans ce dernier cas, le tube acquiert fréquemment des propriétés autres que celles qui ont été décrites plus haut; par exemple il exige fréquemment un potentiel explosif très élevé, tout en fournissant des rayons qui donnent un numéro relativement bas et sont très absorbables. Je ne veux pas insister sur la façon dont se conduisent ces tubes « anormaux ». Les tubes à vide réglable, construits par M. Zehnder, qui contiennent un fragment de charbon de tilleul, m'ont rendu beaucoup de services.

Les observations que j'ai rapportées dans

ce paragraphe et quelques autres m'ont conduit à cette idée que la composition des rayons émis par un tube à décharges muni d'une anode de platine est essentiellement déterminée par la forme du courant de décharge. Le degré de raréfaction, la dureté, ne jouent un rôle que parce que la forme de la décharge en dépend. Quant on peut, d'une façon quelconque, réaliser la forme de décharge nécessaire à la production des rayons X, on peut aussi obtenir ces rayons, même sous des pressions relativement élevées.

Enfin il faut mentionner que la qualité des rayons émis par un tube n'est que peu ou point modifiée par des variations notables d'intensité du courant primaire, en supposant que l'interrupteur fonctionne également dans tous les cas. Au contraire l'intensité des rayons X se montre entre certaines limites, proportionnelle à l'intensité du courant primaire, comme le prouve l'expérience suivante. Les distances du tube à décharges auxquelles la fluorescence de l'écran au platinocyanure de baryum, dans un cas particulier, était encore visible, atteignirent 18,1 m, 25,7 m et 37,5 m, alors que l'intensité du courant primaire croissait de 8 à 16 et 32 ampères. Les carrés de ces distances sont entre eux à peu près dans le même rapport que les intensités de courant correspondantes.

9. Les résultats exposés dans les cinq derniers paragraphes découlaient immédiatement des expériences décrites séparément. En jetant un coup d'œil d'ensemble sur ces résultats séparés on arrive, guidé en grande partie par l'analogie des propriétés que présentent les rayons optiques et les rayons X, aux notions suivantes :

a. La radiation qui émane d'un tube à décharges est constituée par un mélange de rayons diversement absorbables et d'intensité différente.

b. La constitution de ce mélange dépend essentiellement de la forme du courant de décharge.

c. Les rayons privilégiés dans l'absorption sont différents pour les différents corps.

d. Les rayons X procèdent des rayons cathodiques et les deux espèces ont en commun la propriété d'exciter de la fluorescence, d'exercer des actions photographiques et électriques, d'être absorbés dans des proportions qui dépendent essentiellement de la densité des milieux qu'ils traversent; on est conduit à supposer que le mécanisme des deux phénomènes est de même espèce. Sans déclarer que j'adopte sans réserves cette opinion, je voudrais pourtant remarquer que les résultats des derniers paragraphes sont de nature à écarter une difficulté que soulevait jusqu'ici cette hypothèse. Cette difficulté consiste, d'une part, dans la grande différence que présentent l'absorption des rayons cathodiques étudiés par M. Lenard et celle des rayons X et, d'autre part, dans le fait que la transparence des corps aux rayons cathodiques dépend de la densité suivant une autre loi que la transparence aux rayons X.

En ce qui concerne le premier point, il y a deux choses à considérer : 1° Nous avons vu au § 7 qu'il y a des rayons X très diversement absorbables et nous savons par les recherches de Hertz et de Lenard, que les différents rayons cathodiques se distinguent aussi les uns des autres par la différence de l'absorption qu'ils subissent; s'il est vrai que le tube « très doux » mentionné à la page 163 fournissait des rayons X qui sont encore loin d'être aussi absorbables que les rayons cathodiques étudiés par M. Lenard, il existe sans doute encore des rayons X encore plus absorbables et des rayons cathodiques qui le sont moins. Il semble donc très possible que des expériences postérieures nous fournissent des rayons qui, au point de vue de l'absorption, constituent la transition d'une des espèces de rayons à l'autre; 2° Nous avons trouvé au § 4 que la transparence spécifique d'un corps est d'autant plus faible que la lame traversée est plus mince. Par conséquent si nous avions em-

ployé dans nos expériences des lames aussi minces que celles de Lenard, nous aurions trouvé pour l'absorption des rayons X des valeurs plus rapprochées de celles qu'il a obtenues.

Quant à la différence d'effet de la densité des corps sur l'absorption des rayons X et des rayons cathodiques on peut dire que cette différence s'est également trouvée d'autant plus faible qu'on a choisi, pour l'expérience, des rayons X plus absorbables (§ 7 et § 8) et que les lames traversées sont plus minces (§ 5). Par suite il est possible que cette distinction entre les propriétés des deux espèces de rayons s'évanouisse en même temps que la première, grâce à de nouvelles recherches.

Les termes les plus rapprochés au point de vue de l'absorption sont les rayons de cathode qui prennent naissance spécialement dans les tubes très durs et les rayons X qui, dans les tubes très doux, émanent spécialement de la lame de platine.

10. Outre l'excitation de la fluorescence les rayons X exercent encore, comme l'on sait, des actions photographiques, électriques et autres et il y a intérêt à savoir dans quelles limites elles varient parallèlement, quand on change la source des rayons. J'ai dû me borner à comparer les deux premiers effets.

La fenêtre platine-aluminium se prête encore très bien à cette expérience. On en plaça une première sur une plaque photographique enveloppée et une seconde sur l'écran fluorescent, en disposant les deux à la même distance du tube à décharges. Les rayons X avaient, jusqu'à la couche sensible de la plaque photographique et jusqu'au platinocyanure, exactement les mêmes milieux à traverser. Pendant la pose, j'observais l'écran et je déterminais le numéro de fenêtre ; après le développement on déterminait également le numéro sur la plaque photographique et on comparait les deux chiffres l'un à l'autre. Le résultat de ces expériences est que, quand on emploie des tubes assez doux (numéro 4 à 7), on ne note aucune différence ; quand on emploie des tubes plus durs, il m'a semblé que le numéro était un peu plus bas, mais d'une unité au plus, que celui qu'on avait déterminé par l'écran fluorescent. Cependant cette observation, bien qu'elle ait été confirmée à plusieurs reprises, n'est pas absolument démonstrative, parce que la détermination des numéros élevés sur l'écran fluorescent est assez incertaine.

Le résultat suivant présente au contraire toute certitude. Si l'on règle dans le photomètre décrit au § 2 un tube dur et un tube doux de façon qu'ils donnent un éclat uniforme à l'écran fluorescent et qu'on substitue ensuite une plaque photographique à l'écran, on remarque, après le développement de la plaque, que, sur la moitié qui a reçu les rayons du tube dur, l'impression est notablement moins forte que sur l'autre. Les radiations qui excitaient la fluorescence avec la même intensité, exercent des actions photographiques différentes.

En interprétant ces résultats, il ne faut pas perdre de vue que l'écran fluorescent, pas plus que la plaque photographique, n'utilise complètement les rayons incidents ; l'un et l'autre laissent passer beaucoup de rayons qui pourraient encore produire la fluorescence ou des actions photographiques. Le résultat exposé n'est donc vrai que pour l'épaisseur habituelle de la couche photographique sensible et du dépôt de platinocyanure de baryum.

L'extrême transparence de la couche sensible de la plaque photographique aux rayons X de tubes de dureté moyenne, résulte d'une expérience faite sur 96 pellicules superposées, exposées à 25 cm de la source de rayons, pendant 5 minutes et protégées par une enveloppe de plomb, contre le rayonnement de l'air. Sur la dernière on peut encore reconnaître nettement une action photographique tandis que la première ne montre guère d'excès de pose. Partant de ces observations et d'autres analogues, j'ai demandé des plaques photographiques à plusieurs maisons pour voir s'il ne serait pas possible d'en préparer qui convinssent mieux à la photographie par

les rayons X que les plaques ordinaires. Les échantillons envoyés n'ont pas présenté les qualités désirées.

Comme je l'ai déjà dit plus haut, j'ai eu mainte occasion de constater que les tubes très durs exigent, toutes choses égales d'ailleurs, un temps de pose plus long que ceux de dureté moyenne ; ceci se comprend si l'on se rappelle le résultat énoncé au § 9, que tous les corps étudiés sont plus transparents aux rayons émis par des tubes durs qu'à ceux des tubes doux. Et si les tubes très doux demandent aussi une pose prolongée, cela s'explique par l'intensité plus faible des rayons qu'ils émettent.

Quand l'intensité des rayons s'élève par suite de l'augmentation d'intensité du courant primaire (voir plus haut) l'action photographique augmente dans le même rapport que l'intensité de la fluorescence; dans ce cas et dans celui étudié plus haut, où l'intensité du rayonnement de l'écran fluorescent est modifiée par le changement de la distance de l'écran à la source de rayons, l'éclat de la fluorescence serait au moins approximativement proportionnel à l'intensité de la radiation. Mais on ne peut pas considérer cette règle comme générale.

11. Qu'il me soit permis, en terminant, de noter quelques particularités.

Dans un tube à décharges bien construit, pas trop doux, les rayons X proviennent surtout d'une région de la lame de platine, ayant 1 ou 2 mm, frappée par les rayons cathodiques; cependant ce lieu d'émission n'est pas le seul : la plaque entière et une partie de la paroi de verre émettent, quoiqu'en proportion beaucoup plus faible, des rayons X. De la cathode, en effet, partent dans toutes les directions des rayons cathodiques; leur intensité n'est très notable qu'au voisinage de l'axe du miroir concave, et c'est sur la lame de platine, au point où cet axe la rencontre, que naissent les rayons X les plus intenses. Quand le tube est très dur et la lame de platine mince, il part aussi de la face postérieure de cette lame une grande quantité de rayons X et, comme le montre la chambre obscure, c'est encore, de préférence, d'un point situé sur l'axe du miroir.

Même dans ces tubes très durs, le maximum d'intensité des rayons cathodiques peut sortir de la lame de platine sous l'action d'un aimant. Quelques observations faites sur des tubes doux m'ont engagé à reprendre la question de la déviation magnétique des rayons X avec des moyens plus puissants; j'espère pouvoir bientôt rendre compte de ces recherches.

Les expériences rapportées dans ma première communication sur la transparence de plaques d'égale épaisseur, taillées dans un cristal suivant différentes directions, ont été continuées. J'ai fait des essais sur des plaques de spath, de quartz, de tourmaline, d'émeraude, d'aragonite, d'apatite et de barytine. Aucune influence de la direction sur la transparence ne se manifeste.

M. Brandes a observé que les rayons X peuvent découper sur la rétine un cercle lumineux ; j'ai vérifié le fait. Déjà, dans mon journal d'observations, j'ai noté, au commencement du mois de novembre 1895, que, dans une chambre où régnait l'obscurité complète, au voisinage d'une porte de bois sur le côté extérieur de laquelle était fixé un tube de Hittorf, je percevais une faible impression lumineuse, s'étendant sur tout le champ visuel, au moment où on lançait des décharges dans le tube. N'ayant observé le phénomène qu'une seule fois, je l'ai considéré comme subjectif; si je ne l'ai pas revu, cela tient à ce que plus tard, au lieu d'un tube de Hittorf, je me suis servi de tubes où le vide est moins élevé et qui ne portent pas d'anode de platine.

Dans le tube de Hittorf, l'extrême raréfaction du gaz rend les rayons moins absorbables et la présence d'une anode de platine frappée par les rayons cathodiques leur donne de l'intensité, ce qui favorise la production du phénomène lumineux indiqué. J'ai dû remplacer les tubes de Hittorf par

d'autres, parce qu'ils se perçaient tous au bout de très peu de temps,

Avec les tubes durs qu'on emploie constamment aujourd'hui, l'expérience de M. Brandes peut se répéter aisément. Il y a peut-être quelque intérêt à faire connaître le dispositif suivant. Aussi près que possible de l'œil, ouvert ou fermé, on tient une lame de métal portant une fente de quelques dixièmes de millimètres, taillée dans une lame métallique, et on approche la tête, recouverte d'un drap noir, du tube à décharges ; on apercoit alors, avec un peu d'habitude, une faible bande lumineuse d'éclat non uniforme, qui, suivant la place qu'occupe la fente devant l'œil, prend une forme différente ; rectiligne, courbe ou circulaire. En déplaçant la fente horizontalement avec lenteur on peut transformer ces différents aspects progressivement l'un dans l'autre. On trouve facilement une explication de ce phénomène en observant que la prunelle est coupée par un faisceau lamellaire de rayons X et en admettant que les rayons X puissent exciter la fluorescence sur la rétine.

Depuis le début de mes recherches sur les rayons X, je me suis efforcé à plusieurs reprises, d'obtenir la diffraction de ces rayons ; j'ai obtenu plus d'une fois, avec des fentes étroites, etc., des phénomènes dont l'apparence rappelait beaucoup les images de diffraction, mais, chaque fois que j'ai cherché, en modifiant les conditions de l'expérience, à contrôler la valeur de cette explication par la diffraction, j'ai échoué et j'ai souvent pu démontrer directement que les phénomènes avaient une tout autre cause que la diffraction.

Je n'ai à signaler aucune expérience, de laquelle j'aie pu, avec une certitude suffisante, tirer la conviction de l'existence d'une diffraction des rayons X.

W. C. Rœntgen.

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION DE BRUXELLES

L'Exposition universelle et internationale qui vient de s'ouvrir à Bruxelles s'annonce comme devant obtenir un très grand succès, des plus mérités d'ailleurs. Les participations des divers pays étrangers sont toutes remarquables, mais sans contredit c'est la section française qui l'emporte tant par la quantité que par la qualité des produits exposés. — Toutes les branches de l'industrie, tous les produits de l'activité humaine s'y trouvent dignement représentés ; toutefois si l'ensemble est des plus intéressants, il faut reconnaître que la section d'électricité est probablement celle qui présente le moins de nouveautés. Les machines et appareils exposés sont cependant suffisamment intéressants pour être mentionnés, voire même quelques-uns pour être décrits en détail.

La plupart des dynamos présentées sont utilisées pour l'éclairage de l'Exposition et de ses jardins. Le Comité exécutif de l'Exposition, lorsqu'il s'est agi de traiter la question de l'éclairage, avait trouvé, avec raison du reste, qu'il serait plus intéressant d'avoir une exposition d'électricité comprenant plusieurs machines de types différents et de puissances faibles, plutôt que quelques machines d'un même type mais de grande puissance. Partant de cette idée il a cru préférable de concéder l'éclairage non pas en bloc à une ou deux grandes firmes, mais bien en le divisant par secteurs, et en l'attribuant à des sociétés différentes.

Une demande de soumission fut donc adressée dans ce sens par le comité à tous les constructeurs. Mais plusieurs de ceux-ci et des plus importants ont estimé alors leur part trop peu considérable et ont préféré

s'abstenir de toute participation. — Cette décision fut très regrettable parce qu'elle fit perdre au hall des machines des exposants dont les installations auraient certainement été intéressantes. D'autres constructeurs au contraire, accueillirent cette idée de répartition avec faveur, mais afin de concentrer leurs efforts et de centraliser leurs moyens, préférèrent voir l'éclairage concédé en totalité à un syndicat d'électriciens qui lui, utiliserait les machines et appareils des divers associés au prorata de leur participation dans la société. C'est ainsi qu'à l'adjudication une seule soumission fut présentée. Elle était rédigée dans le sens ci-dessus et émanait de la maison W. Dierman et Cie de Liège agissant en son nom et en ceux de la maison Jaspar de Liège et de la société du Phœnix de Gand.

Cette soumission fut acceptée par le comité exécutif, et toute la fourniture de l'électricié à Bruxelles et à Tervueren, tant pour l'éclairage que pour la force motrice, tant pour le service public que pour le service des particuliers fut concédée à ces trois maisons solidairement, mais à la condition de permettre à tous les constructeurs électriciens de pouvoir participer à cette concession pourvu qu'ils se fassent inscrire avant le 1er février. Toutefois il fut reconnu aux sociétés Dierman, Jaspar et le Phœnix, le droit de constituer une société anonyme avec les constructeurs qui se feraient inscrire, mais afin d'avoir une garantie de bonne gestion et d'éviter une exécution trop divisée, le Comité de l'exposition obligea ces trois sociétés à paraître à l'acte constitutif comme fondateurs et à conserver les 2/3 des actions.

C'est ainsi qu'à la fondation de la Société le 1er février, les associés étaient les maisons suivantes : MM. Dierman et Cie de Liège, Jaspar de Liège, le Phœnix de Gand, Gramme de Paris, Fabius Henrion de Nancy, Siemens et Halske de Berlin, Hoho de Bruxelles, The Improved Glow Lamp de Londres, le Phaëton de Bruxelles, von Muhlman et Forkel (Jandus) de Bruxelles et Bardon de Paris.

Chaque associé devait apporter à la Société une contribution aux installations (machines ou lampes) en rapport avec le nombre de ses actions.

Aussi certains associés ne désirant pas exposer la totalité de leur part, se sont entendus avec d'autres firmes qui tout en ne faisant pas partie du syndicat et tout en ne courant pas avec lui les risques de l'entreprise exposent avec cette collectivité, et prêtent ou louent leurs machines et appareils pour le service de l'éclairage. C'est de cette façon que la maison Bréguet, de Paris, la société Cockerill (représentant la maison De Laval), etc., exposent avec le syndicat.

Les installations de chaudières (système De Nayer) sont faites par le comité de l'Exposition même qui fournit la vapeur aux machines du syndicat.

Les machines à vapeur sont toutes louées par celui-ci à divers constructeurs et actionnent les dynamos exposées par les syndiqués.

Les groupes de machines qui contribuent au service de l'éclairage sont les suivants :

1er *groupe*. — Une machine à vapeur compound (tandem) à condensation, exposée par la société le Phœnix de Gand, actionnant 2 dynamos hexapolaires, à induits à enroulement Gramme fournissant chacune 1 100 ampères à 130 volts, exposées par la maison Gramme, de Paris. L'attaque est faite par courroies superposées sur le même volant. Ces 2 dynamos sont mises en série, et sont construites pour pouvoir fournir chacune 2 000 ampères à 130 volts.

2e *groupe*. — Un moteur à gaz Fielding avec une dynamo Jaspar pouvant fournir 150 ampères sous 260 volts. La dynamo est du type fer à cheval supérieur à induit Gramme.

3e *groupe*. — Une machine à vapeur Herlay construite par la maison Hendrichs de Verviers desservant une dynamo du Phœnix type Manchester de 500 ampères sous 130 volts, et une machine à vapeur Preud'homme de Huy actionnant une dynamo Dierman de

même puissance. Ces 2 dynamos sont mises en série. La dynamo Dierman est tétrapolaire avec un induit tambour à enroulement Esson.

4e *groupe*.— Une turbine De Laval (exposée par la Société Cockerill) attaquant directement *une* dynamo Bréguet à *deux* induits Gramme jumellés, les inducteurs approchant du type Manchester. Ce groupe peut fournir 360 ampères sous 260 volts.

5e *groupe*. — Une machine à vapeur verticale Raworth exposée par la Brush Electrical Engineering C° actionnant une dynamo Jaspar de 360 ampères sous 260 volts. La dynamo est tétrapolaire avec induit tambour, enroulement Siemens.

6e *groupe*. — Une machine à vapeur du Phœnix avec une dynamo de la même société. La dynamo est également tétrapolaire avec induit tambour Siemens, et elle peut fournir 360 A sous 260 volts.

7e *groupe*. — Une machine à vapeur Gilain actionnant deux dynamos Fabius Henrion, hexapolaires et à tambour Siemens. Ce groupe fournit également 360 A sous 260 volts, les deux dynamos étant mises en série.

Toutes ces dynamos sont excitées en dérivation et sont raccordées à un tableau général de la maison Dierman, d'où partent les divers circuits d'éclairage et d'illumination, mais chaque dynamo alimente une partie distincte de l'éclairage. — Si toutes les machines avaient été mises en parallèle il y aurait eu à craindre, en cas d'accident aux machines, des contestations au sujet de la responsabilité entre les exposants des machines détériorées. — L'installation étant ainsi divisée, en cas d'avaries à une machine, les circuits y reliés seraient complètement hors service, mais pour écarter cette éventualité tous les circuits peuvent être branchés en supplément sur le 1er groupe Phœnix Gramme qui normalement ne fonctionne qu'à un tiers de charge et constitue donc la réserve.

Le réseau d'éclairage est généralement aérien et en fils nus. Il est à 3 fils avec une tension de 120 volts aux lampes sur chaque pont. L'éclairage public des jardins et de la salle des fêtes de l'Exposition à Bruxelles est assuré par 100 arcs Fabius Henrion, 50 arcs Maeck et Holstein, 35 arcs Kœrting et Mathiesen et 65 arcs Bardon (salle des fêtes) raccordés par 5 en tension sur 240 volts. C'est probablement afin de pouvoir mettre les lampes par 5 en tension que cette tension anormale de 2×120 volts aux lampes a été adoptée. Pour les illuminations il est établi 5 000 lampes de 10 bougies dans des ballons de celluloïd fournis par la maison Beau et Bertrand-Taillet de Paris.

Pour la partie de l'Exposition située à Tervueren il y aura une installation de 300 arcs pour l'éclairage des jardins. Ces arcs mis par 5 en tension seront alimentés par une station comprenant des machines Jaspar (100 kilowatts) et des machines Phœnix (150 kilowatts). La maison Siemens et Halske installe également à Tervueren des machines d'une puissance de 100 kilowatts destinées à transporter à Bruxelles sous 4 000 volts en courants triphasés, l'énergie nécessaire à l'alimentation des fontaines lumineuses. Les génératrices de Tervueren et les électromoteurs de Bruxelles sont prêts, mais l'installation des machines à vapeur à Tervueren qui doit être établie par les administrations de l'État belge n'est pas encore terminée. Il en est de même de l'installation électrique et mécanique pour le monorail qui n'est pas encore en service. Aussi les détails de cette partie seront-ils remis à un prochain article. Actuellement les fontaines lumineuses de Bruxelles sont actionnées par un moteur à courant continu établi provisoirement et relié à la station de Bruxelles [1].

Ces divers services sont assurés avec les machines précitées par le syndicat électrique mais les membres de celui-ci exposent encore d'autres appareils. C'est ainsi que la maison Jaspar expose encore toute une série de

[1] Tous ces renseignements sont dus à l'obligeance de M. W. Dierman, l'administrateur délégué de la Société d'électricité de l'Exposition de Bruxelles.

dynamos type fer à cheval supérieur, la maison De Laval plusieurs exemplaires de ses turbines, la firme Bréguet d'autres moteurs et un tableau de distribution, la maison Fabius Henrion des lampes à arc, à incandescence, des tableaux, des appareils de chauffage, etc.; de même la Société Gramme qui présente en outre, divers types de dynamos à courant continu ainsi que quelques applications mécaniques ou machines-outils actionnées par des dynamos; tels : une pompe, un ventilateur, un banc à étirer, une forge avec souffleur, une machine à fraiser, un monte-charge, une dynamo pour galvanoplastie, etc., etc.

Les applications mécaniques de l'électricité sont bien représentées par d'autres maisons encore. Ainsi l'Union Elecktricitæts gesellschaft de Berlin expose des machines-outils nombreuses : grue électrique, cabestan électrique, etc., avec des pièces détachées diverses notamment des attaches pour système aérien, des châssis et moteurs de voiture, etc. La maison Lebrun, de Nimy, expose une pompe électrique et une locomotive électrique pour mines, fort ramassée et fort bien enveloppée. Elle est destinée aux mines de Godbrange.

La maison Ganz et Cie de Budapest, dont l'exposition est probablement ce qu'il y a de plus intéressant dans la section d'électricité, expose également des machines-outils. Les appareils exposés par cette maison sont d'ailleurs très nombreux et très divers : il y a une dynamo à courant continu, un alternateur monophasé, un alternateur polyphasé, des électromoteurs pour tramways à courant continu et à courants triphasés, des transformateurs, un condensateur spécial, divers tableaux, des appareils de contrôle, de sécurité, de manœuvre, etc. Cette Société qui exécute également d'autres constructions mécaniques expose encore des turbines à eau pour actionner des dynamos, l'une de 160 chevaux pour débit de 600 litres à la seconde sous 25 m de chute, l'autre de 520 chevaux pour débit de 3 200 litres à la seconde sous 10 m de chute. La première de celles-ci est munie d'un régulateur automatique à pression d'eau. Il y aura lieu, dans un prochain numéro, de revenir sur cette exposition fort complète.

La nécessité pour les installations d'électricité dans les villes de posséder des machines de dimensions réduites et de faible encombrement se manifeste par le grand nombre de machines à vapeur verticales exposées. Parmi celles-ci, il faut signaler le moteur de 170 chevaux grande vitesse exposé par la Société des moteurs grande vitesse (système Carels) de Sclessin-lez-Liège (à reprendre dans un autre article).

Ce moteur actionne une dynamo tétrapolaire de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi (maison Dulait); mais cette société n'ayant pas voulu participer à l'Exposition a démarqué sa machine. Un autre moteur intéressant est celui exposé par la maison Delaunay-Belleville, de Saint-Denis : c'est une machine verticale de 120 chevaux à 4 expansions tournant à 340 tours. Son encombrement n'est que de 1,90 m sur 0,83 m, la hauteur étant de 2,15 m.

Plusieurs firmes exposent des moteurs à gaz qu'elles recommandent tous pour les stations centrales; mais dans cette branche si les firmes sont nombreuses, les nouveautés ou perfectionnements marqués sont peu importants : il y a les moteurs Otto à gaz et à pétrole, verticaux et horizontaux exposés par la maison Fetu Defize, de Liège; les moteurs Filding ; les moteurs à gaz et à pétrole Clark et Chapman; les moteùrs Hille à gaz, pétrole, benzine et alcool de la Dresdner gaz motorenfabrieck; les moteurs Tangyes de Birmingham; les moteurs Letombe construits par Mollet-Fontaine, à Lille; les moteurs Furnival; les moteurs Polke, de Vienne avec mécanisme de distribution à rouleau ; les moteurs Harten dits « National » avec pot d'aspiration muni d'un filtre à air, etc., etc.

Les lampes à incandescence sont exposées, en outre de la société Gramme et de Fabius Henrion, par la Société Phaëton, la Compagnie générale des lampes à incandescence de

Paris, la firme Sunbeam, etc. Les lampes à arc représentées sont nombreuses et comprennent spécialement les lampes Bardon, les lampes Jandus, les lampes Klosterman de Paris, à traction magnétique, les lampes Eck, de la Compagnie générale de traction et force, etc. Cette dernière société expose encore un contrôleur spécial, système Clemançon, pour le tramway de Romainville prolongé.

Les constructeurs de câbles ne sont guère nombreux; il n'y a à citer que la compagnie India Rubber, de Londres (qui expose également des dynamos, des galvanomètres, des résistances, etc.), la firme Felten et Guilleaume et la maison Grammont qui outre une collection de câbles présente 2 dynamos à courant continu.

En revanche, les fabricants d'accumulateurs sont fort bien représentés notamment par la société l'Électrique de Bruxelles (maison Julien) qui expose son nouveau type d'accumulateur à plaques positives cannelées en assises horizontales, et à anodes formées de cylindres de matière active enfilés sur des tiges de plomb antimonieux; puis il y a encore les accumulateurs Boese construits par la maison Dinin, les accumulateurs à navettes René Blot, les bacs pour accumulateurs de la société de Saint-Gobain produits par le procédé Appert, etc., etc. — Les piles hydro ou thermo-électriques ne sont représentées que par quelques exposants; à part les éléments Junius et Cassius de Paris, les charbons pour piles exposés par la Société le Carbone, de Paris, et la pile étalon Baille et Ferry il n'y a rien de particulier à signaler. Le gouvernement belge avait cependant attribué un prix spécial pour « le procédé *industriel* permettant de transformer directement l'énergie chimique ou thermique en énergie électrique ». Il est à supposer que ce desideratum presque classique n'aura pas encore cette fois de solution même approchée.

A côté des appareils enregistreurs Richard bien connus, il faut citer spécialement, parmi les appareils de mesures, ceux présentés par la maison Chauvin et Arnoux. Les échantillons exposés par cette maison tant pour usage de laboratoire que pour emploi industriel sont des plus intéressants; à signaler notamment, outre les voltmètres et ampèremètres connus, le voltmètre enregistreur dernier modèle à déviations proportionnelles avec plume à molette roulante, et l'appareil portatif de mesures dit « universel ». — La maison Brunt expose ses compteurs Brillié et la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs expose, avec des compteurs Elihu Thomson, des wattmètres et appareils d'étalonnage, des disjoncteurs bipolaires Volta, etc.

Il y a encore certaines applications intéressantes de l'électricité aux chemins de fer et à l'art militaire : tels des signaux électriques, un « dispositif pour faire sauter les trains en marche », des amorces électriques de la maison Marcel Caupillat, etc.

Enfin, l'État belge montre les appareils et installations de ses services du télégraphe et du téléphone.

Mais ce qui présente probablement le plus d'intérêt est toute la série d'appareils de laboratoires exposés dans la section des sciences par des constructeurs ou par des professeurs.

Le constructeur Chabaud expose divers tubes de Crookes, notamment le modèle Colardeau, un électromètre capillaire Lippmann, etc.

La maison Ducretet et Lejeune présente un galvanomètre enregistreur Ducretet, un appareil Pellat pour la détermination des pouvoirs inducteurs spécifiques des solides et des liquides, des électroscopes, des appareils d'études divers construits pour des professeurs, etc.

Elliott Brothers, de Londres, exposent des résistances, commutateurs et galvanomètres divers ainsi que 2 appareils du professeur Ewing : un *magnetic tester* et un *permeability bridge*.

Fein, de Stuttgart, présente une machine dynamo à main et une collection d'appareils pour démonstrations de laboratoire électrique. Cet ensemble très complet serait fort à sa place dans toutes les classes de physique.

Le Dr Zenger, de Prague, expose aussi toute une série d'appareils de démonstration fort intéressants, concernant son « système du monde électrodynamique », notamment un appareil à trois électro-aimants pour l'imitation du mouvement rotatoire et orbiculaire des planètes.

La radiographie est encore représentée par une installation de M. Radiguet, de Paris, et par une autre de l'Allgemeine Electricitæts Gesellschaft, de Berlin. Bonnetti expose ses machines électrostatiques, ainsi que la maison Sacré, de Bruxelles, qui présente des machines Wimshurst.

Il y a encore un conjoncteur disjoncteur spécial de M. Ferry, un appareil téléphonique nouveau de M. L. Seligmann, ingénieur des télégraphes français, etc., etc.

Pour terminer, il reste à citer les expositions des universités de Bruxelles, Gand et Liège. L'université de Bruxelles expose divers appareils de laboratoire, notamment un photomètre pour les lampes à arc de M. le professeur Rousseau.

L'institut Montefiore Levi, de Liège, présente avec des projets, travaux, rapports et mémoires d'élèves, des appareils imaginés par M. Montefiore ou par M. le professeur Eric Gérard. De M. Montefiore Levi il y a une attache spéciale pour câbles téléphoniques, une balance Ruprecht modifiée, etc. De M. Eric Gérard il y a un pont de conductibilité, divers électromètres et galvanomètres particuliers, un dispositif pour la méthode de localisation des défauts d'isolement au moyen du téléphone, un autre pour la méthode d'enregistrement des courants périodiques, etc.

Cet ensemble d'appareils d'études présente des enseignements nombreux et sans contredit l'on pourra retirer grand fruit d'une visite dans la section des sciences. Pour les appareils industriels d'électricité, l'intérêt présenté par l'exposition de Bruxelles est certainement moindre. Aussi ne sera-t-il repris en détail dans un prochain article que quelques-unes des machines citées.

M. T.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Pile à circulation continue W. Turner (1).

Les éléments H_2, H_2, à vases poreux et chargés soit au bichromate soit au sel ammoniac sont placés sur une ou plusieurs rangées dans le compartiment H, lequel occupe le second plan de la caisse renfermant tout l'appareil. Chacun d'eux est muni d'un entonnoir F dont la tubulure atteint le fond des vases.

La solution, contenue dans les deux réservoirs superposés C et E, vient, par les valves C_1, E_1, s'écouler dans le tuyau distributeur F_1 qui la répartit dans chacun des éléments. Le trop-plein déborde par le col du vase extérieur dans une gouttière, non représentée sur la figure, qui amène le liquide dans le réservoir inférieur J.

Dans le compartiment de gauche se trouve un petit moteur électrique K, alimenté par la pile même, qui entraîne les trains d'engrenages correspondant à chacun des deux leviers L_1, L_2 des valves C_1 et E_1, lesquelles sont ouvertes en même temps comme on le voit en examinant la disposition des deux roues K_2 et N actionnant les leviers. Le moteur peut également être appliqué à la commande d'une pompe dont la crépine

(1) Brevet anglais n° 1669, présenté le 23 janvier 1896, accepté le 9 janvier 1897; 4 figures.

plonge dans le réservoir inférieur pour re-

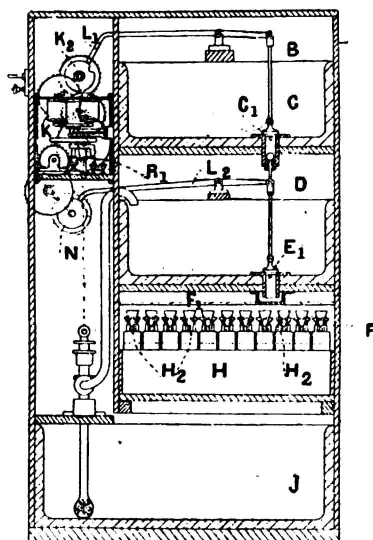


Fig. 1. — Pile à circulation continue W. Turner.

monter la solution en E d'où elle passera de nouveau dans les éléments jusqu'à ce qu'elle soit complètement épuisée. L. D.

Four Regnoli pour la fabrication du carbure de calcium.

Le 9 février dernier, on a inauguré à Pont-Saint-Martin, dans la vallée d'Aoste, près de Ivrea, la première fabrique de carbure de calcium établie en Italie. Le four employé est du système Regnoli-Memmo ; il est à action continue et permet une utilisation rationnelle de l'énergie électrique par la récupération de la chaleur rayonnée et de l'oxyde de carbone dégagé, ainsi que par l'échauffement des matières à traiter avant leur introduction dans le four proprement dit.

L'oxyde de carbone qui se dégage du four est recueilli dans une chambre F (fig. 1) d'où il s'échappe, par un tuyau I, dans un gazomètre; il est ensuite brûlé en MM pour échauffer le mélange à traiter placé dans la trémie L. Une vis d'Archimède N entraine ce mélange automatiquement vers le conduit O d'alimentation du four. Lorsqu'une quantité suffisante de carbure en fusion est formée, on ouvre le trou de coulée C, par le levier A, et le carbure tombe dans un chariot S placé dans une galerie inférieure R. Le creuset AB est en charbon, la sole B est mobile afin de faciliter les réparations. Enfin, le creuset est entouré d'une chambre à air E dans laquelle sont placées les résistances servant à régler l'intensité du courant, ce qui permet d'utiliser en partie l'énergie dissipée dans ces résistances [1].

Le four aurait produit, lors des essais, 200 grammes de carbure de calcium pour une dépense d'énergie électrique égale à 735 watts-heure, soit 1 kg de carbure pour une dépense de 5 chevaux-heure électriques. C'est un résultat très satisfaisant. Le four employé exige une puissance de 50 kilowatts.

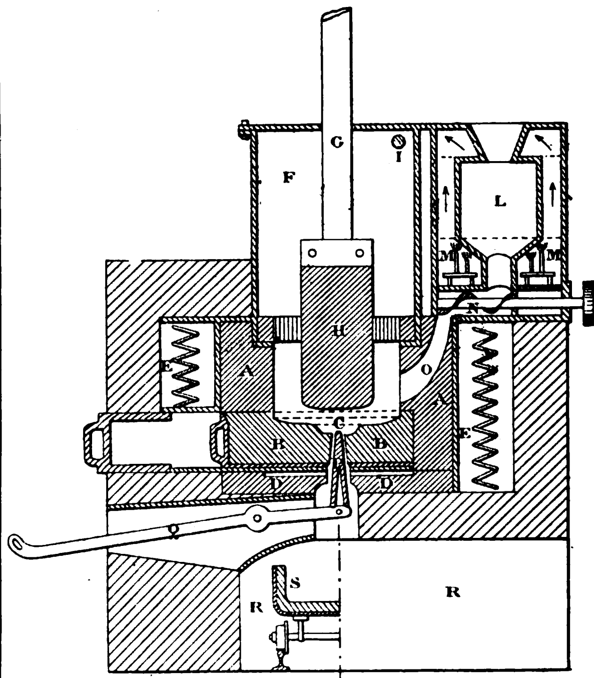


Fig. 1. — Four Regnoli pour la fabrication du carbure de calcium.

L'installation a été faite dans les établissements de l'ancienne Société électrométallurgique où l'on peut disposer actuellement d'une

---

[1] La description du four et la figure qui l'accompagne sont extraites de *L'Éclairage à l'Acétylène*, par Georges Pellissier, G. Carré et C. Naud, éditeurs.

puissance hydraulique de 1000 chevaux, puissance qui pourrait être portée à 2000 chevaux s'il était nécessaire. G. P.

Grande machine de Wimshurst à 24 plateaux;

M. James Wimshurst a exposé à la récente soirée de la Royal Society de Londres, une grande machine électrostatique à plateaux de verre tournant en sens inverse. Nous en reproduisons l'aspect (fig. 1) d'après notre confrère « Engineering ». C'est la plus grande machine électrostatique qui ait jamais été construite; elle produit d'énormes quantités d'électricité. Elle est composée de deux machines accouplées; chaque machine comporte 12 plateaux de 91,4 cm de diamètre et munis chacun de 32 secteurs métalliques; l'amorcement se fait automatiquement et est très rapide, car il est complet avant que la manivelle ait fait un tour complet. Les deux machines sont réunies en quantité; la longueur des étincelles entre les deux excitateurs extrêmes est de 81 cm environ, la sphère médiane se trouvant comprise dans cette longueur. Les dimensions extérieures de la machine sont de 2,75 m de longueur et 0,83 de largeur. G. P.

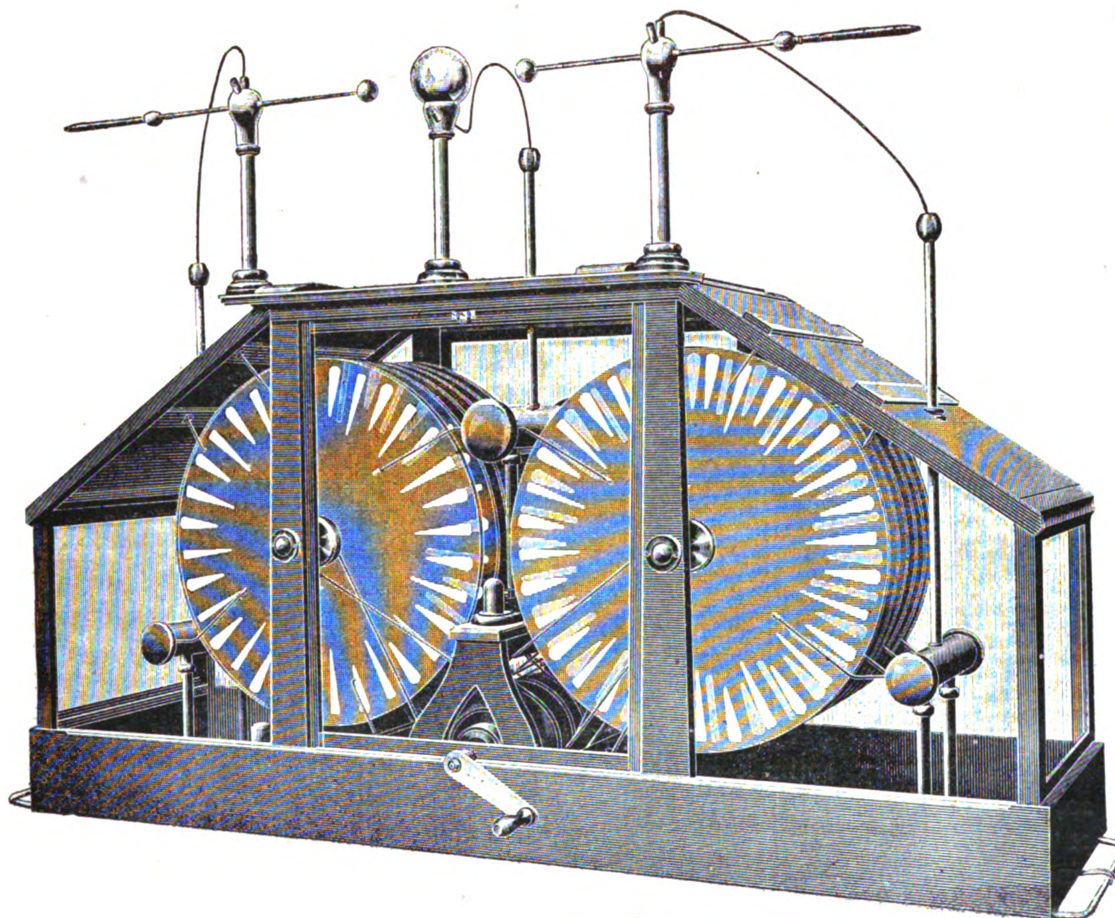


Fig. 1. — Grande machine de Wimshurst à 24 plateaux.

Signal pour tramways électriques;

Par H.-A. Parrish.

Ce signal a pour objet de prévenir de l'approche d'une voiture à un croisement. En avant de ce croisement, dans le sens de la marche des voitures, un ferme-circuit 4 est

monté sur le fil 5 du trôlet. Au croisement même, un second ferme-circuit 3 est également monté sur le fil à trôlet; en ce point sont également montés les signaux : des lampes 31 et une sonnerie 30; le ferme-circuit 3 est disposé pour n'être actionné que par les voitures se dirigeant vers le croisement; le ferme-circuit 4 est disposé pour être actionné par les voitures venant dans les deux directions s'il s'agit d'une ligne à simple voie, ou on dispose deux ferme-circuits, un sur chaque voie.

Lorsque la roue 16 venant du trôlet d'une voiture allant de droite à gauche passe en 4, elle pousse le levier 17 qui vient occuper la position représentée en pointillé sur la figure 2, position dans laquelle il vient presser, par un bras isolant qui le termine, le ressort 7 sur le ressort 8; dès que la voiture est passée, le levier 15, sollicité par le ressort 20, reprend sa position verticale et le contact est rompu entre 7 et 8. Le fonctionnement du ferme-circuit 3 est identique au précédent.

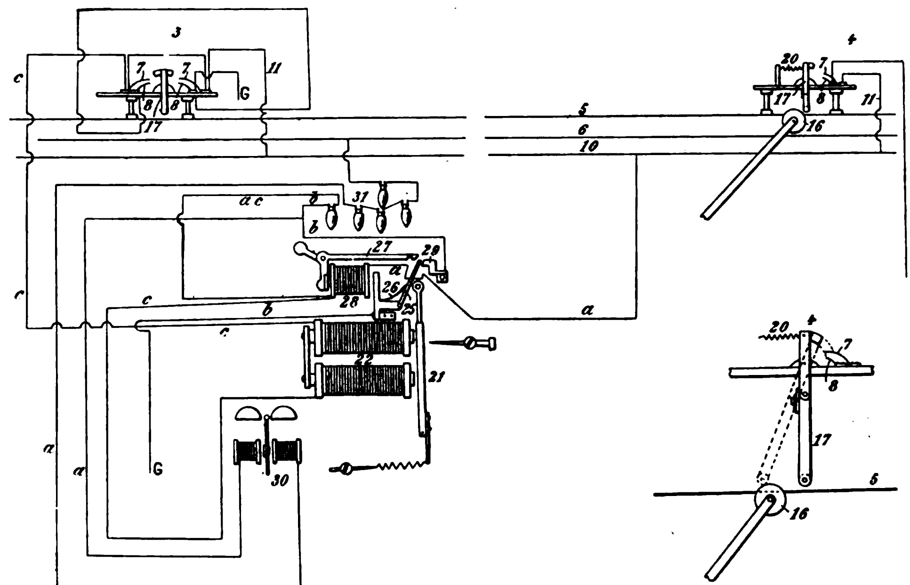


Fig. 1 et 2. — Signal pour tramways électriques.

Ceci posé, voici quel est le fonctionnement de l'appareil.

Lorsque les ressorts 7 et 8 en 4, sont en contact, le courant dérivé du câble distributeur 6, passe par les lampes 31 qui s'allument, le câble *a*, la sonnerie 30, la lampe *b*, le fil *ac*, l'électro 28, le fil *a*, le câble spécial 10, le fil 11, les contacts 7 et 8 pour faire retour à la terre en G.

L'électro 28 attire alors son armature 27, qui libère le levier 25 lequel, poussé par le ressort 26, vient au contact de la pièce 29. Le courant passe alors par 6, 31, *a*, 30, *b*, 29, et se rend à la terre en G par le fil *b*. Les lampes et la sonnerie resteront donc en circuit, bien que le contact en 4 soit rompu. Il en sera de même jusqu'à ce que la roue 16 vienne en 3, pousser le levier 17 et mettre ainsi en contact les ressorts 7 et 8. La marche du courant est alors la suivante : il continue à passer dans les circuits fermés en 29, comme précédemment, mais une partie se dérive par la lampe *b*, les fils *a c*, *c*, l'électro 22, le fil *c*, les contacts 7 et 8 et la terre. L'électro 22 attire alors son armature 21 qui vient pousser le levier 25 dans le verrou de l'armature 27. Le circuit est alors rompu en 29 et comme il n'est fermé qu'un instant très court en 7 et 8, les lampes et la sonnerie cessent de fonctionner.

G. P.

Clapets électriques ou redresseurs électrolytiques de courants;

Par Ch. Pollak [1].

Le but de M. Pollak est d'empêcher le passage d'un courant continu dans un appareil quelconque, batterie d'accumulateurs, lampes moteurs, lorsque les connexions sont faites à rebours.

Le principe de son dispositif repose sur la résistance que certains dépôts électrolytiques opposent au passage d'un courant [2]. Considérons en particulier, un voltamètre contenant une solution alcaline ou acide et ayant une des électrodes en aluminium et l'autre en plomb. Si l'électrode en plomb est en communication avec le pôle positif, le courant n'aura à vaincre que la force contre électromotrice de polarisation, c'est-à-dire environ 2 volts. Si au contraire c'est l'électrode d'aluminium qui est connectée avec le pôle positif de la source, l'oxygène provenant de la décomposition de l'électrolyte se porte sur ce métal et détermine à sa surface une couche d'alumine dont la résistance est très grande.

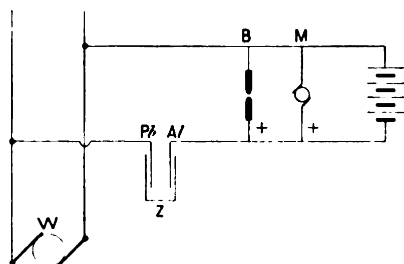


Fig. 1.

La figure 1 montre le schéma du montage d'un des éléments sur le circuit de charge d'une batterie d'accumulateurs, ou sur un circuit de lampes à arc ou de transport d'énergie.

Le brevet de M. Pollak relate également l'emploi de ce dispositif avec les courants alternatifs pour empêcher le passage du courant dans un sens seulement. Cet emploi n'est pas nouveau; il a déjà été indiqué par MM. Hutin et Leblanc [1], qui ont donné à ce genre d'appareils le nom de « clapets électriques ».

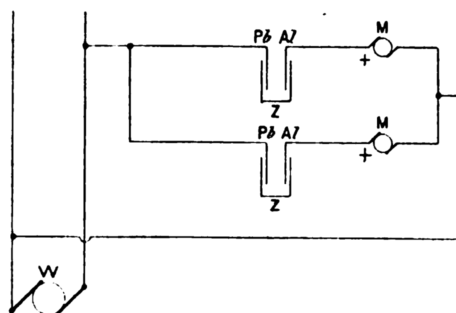


Fig. 2.

Pour utiliser dans les deux sens le courant alternatif produit par l'alternateur W, on doit employer des moteurs à deux induits distincts dont les circuits sont montés en dérivation après avoir introduit dans chacun un élément aluminium-plomb. F. G.

(1) Brevet anglais, n° 24.398, déposé le 19 déc. 1895, déclaré le 5 déc. 1895.

(2) Voir à ce sujet dans *L'Éclairage Électrique* du 3 juillet, t. XII, p. 76, la note présentée récemment par M. Pollak à l'Académie des sciences.

(1) Étude sur les courants alternatifs et leur application au transport de la force.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du Mercredi 7 Juillet 1897

M. Janet présente, au nom de M. F. Laporte, le résultat d'*études expérimentales sur les coupe-circuits et plombs fusibles;* ce travail est le premier qui ait été fait par le service des recherches au laboratoire de la Société. M. Janet insiste sur les services que ce laboratoire pourra rendre à de nombreuses personnes et notamment aux industriels qui

pourront y faire exécuter les recherches spéciales que les exigences des affaires ne leur permettent pas d'entreprendre et qui sont pourtant indispensables pour perfectionner le matériel existant.

L'étude entreprise par M. Laporte peut se partager en deux parties :

1° L'étude du fil fusible en lui-même;

2° L'étude de l'appareillage.

M. Laporte se borne actuellement à la première partie.

En 1884-1885, M. Preece étudia les lois suivant lesquelles se produit l'échauffement d'un fil parcouru par un courant électrique, et il conclut à la loi bien connue de la puissance 3/2 du diamètre, loi que permet d'établir directement la théorie; toutefois, le savant Anglais remarqua que l'accord entre les chiffres fournis par l'expérience et ceux que donne le calcul, n'était qu'approché: pour les fils très fins, la loi cessait d'être applicable, même approximativement.

Ces études furent reprises par MM. Forth et Bottomley, puis, en 1893, par M. Matthews qui conclurent également à la loi de la puissance 3/2. Ce dernier savant chercha, en outre, quels étaient les alliages les plus favorables à employer. Il reconnut qu'un alliage formé de 2 Pb et 1 Sn avait le plus faible point de fusion; ce n'était pourtant pas celui qui donnait les meilleurs résultats, parce que sa résistance était trop faible et que l'échauffement produit par un courant donné est proportionnel à la résistance du fil.

En 1894, M. Anney publia une étude très intéressante sur la même question; il s'occupait principalement des alliages et dirigea ses recherches vers les questions d'appareillage; il étudia l'influence de la longueur et celle des points d'attache.

Enfin, en 1895, MM. Steens, Gates et Freemans, firent connaître les résultats de leurs recherches sur le même sujet; ils avaient étudié particulièrement quelle devait être la durée du passage d'un courant d'intensité donnée pour que la fusion pût être obtenue sûrement; ils représentèrent la marche du phénomène par des courbes tracées par points en portant les intensités en ordonnées et les temps en abscisses : ils montrèrent ainsi qu'un fil établi pour fondre à 8 ampères normalement pouvait supporter, sans fondre, un courant de 35 ampères pendant une seconde; ce n'est que vers 30 secondes environ que la courbe devient parallèle aux abscisses et que, par conséquent, la fusion des fils se produit certainement.

Ce retard suit d'ailleurs une marche particulière pour chaque métal; il est très réduit pour le cuivre et le maillechort.

Tel était l'état de la question lorsque M. Laporte commença ses recherches. Il se préoccupa surtout de résoudre cette question : Étant donné un fil, fondra-t-il toujours sans retard à l'intensité normale pour laquelle il est établi?

Tous les électriciens ont vu des fils de plomb fusible portés à l'incandescence et rester dans cet état pendant une durée plus ou moins longue; comment ce phénomène pouvait-il se produire, bien que la température à laquelle se produit l'incandescence soit de beaucoup supérieure à la température de fusion du métal employé.

M. Laporte parvient à cette conclusion peu rassurante que l'incandescence des fils de plomb ou d'alliage est un phénomène normal : on peut toujours maintenir pendant plusieurs heures un fil de plomb ou d'alliage à l'incandescence.

La raison de ce fait est que, à l'air libre, sous l'influence de l'élévation de température, le métal se recouvre d'une couche d'oxyde suffisamment résistante pour maintenir le métal liquide et l'empêcher de couler.

On reconnaît facilement le bien fondé de cette hypothèse en cherchant à reproduire le phénomène dans une atmosphère de gaz non oxydant, dans du gaz d'éclairage, par exemple. Dans ces conditions, les fils de plomb fondent régulièrement sans être portés à l'incandescence; des fils en alliage fusible présentent cette particularité qu'ils peuvent être portés à l'incandescence même dans le gaz d'éclairage; lorsqu'on les examine ensuite on

voit qu'ils sont recouverts d'une couche noire de graphite provenant de la décomposition du gaz; ce serait cette couche de graphite qui, d'après M. Laporte, jouerait le même rôle que la couche d'oxyde et empêcherait le métal de couler [1].

Une autre cause de retard résiderait dans la tension superficielle des métaux fondus. Si l'on prend un fil tendu horizontalement et qu'on l'échauffe graduellement en augmentant peu à peu l'intensité qui le traverse, on voit le fil rougir d'abord au milieu, puis l'incandescence gagner de proche en proche vers les extrémités; en même temps, le fil se dilate et prend la forme d'une chainette, sans se rompre. La tension superficielle serait suffisante pour expliquer ce phénomène. D'après les expériences de Queen, la tension superficielle du plomb serait, en effet, environ six fois plus considérable que celle de l'eau.

Après avoir reconnu ces causes de retard, M. Laporte a cherché à les supprimer. Dans ce but, il a recouvert la surface des fils d'un corps réducteur; la résine lui a donné d'excellents résultats : elle forme un vernis protecteur qui empêche l'oxydation et, en même temps, elle réduirait la tension superficielle des métaux; les fils ainsi traités fondent dans les conditions normales.

M. Laporte s'est ensuite occupé de l'influence de la longueur et du diamètre des fils; il a reconnu que le retard est sensiblement nul lorsque la longueur des fils dépasse 3 à 4 cm et que leur diamètre dépasse 1 mm.

Les fils verticaux fondent plus régulièrement que les fils horizontaux; cela justifie la pratique industrielle qui consiste à disposer les fusibles verticalement.

(1) Cette hypothèse nous paraît devoir être vérifiée; la la température de fusion des fils d'alliage est voisine de 180° ou 190° C.; il semble peu probable que le gaz soit décomposé à une température inférieure; le dépôt de carbone serait alors un phénomène subséquent à l'incandescence, et n'en serait pas la cause première; si la décomposition du gaz se produisait à ces basses températures, elle se produirait aussi avec les fils de plomb qui ne fondent que vers 320°, or, nous avons vu que le phénomène ne se produit pas avec des fils de plomb. G. P.

Un autre point restait à élucider: c'était l'influence des points d'attache; il est évident que la chaleur engendrée dans le fil se propageant par conduction dans les masses métalliques servant à le fixer, celles-ci auraient une influence refroidissante d'autant plus grande que leur masse serait plus considérable et que les fils seraient plus courts. On reconnaît, en effet, que les fils fondent pour des intensités d'autant plus faibles qu'ils sont plus longs.

Dans les expériences suivantes, on a employé des fils de même diamètre (1,2 mm) et l'on a simplement changé le poids des bornes et la longueur du fil; on déterminait l'intensité du courant nécessaire pour amener la fusion. Les résultats ont été les suivants :

Poids des bornes.	Intensité du courant amenant la fusion. Pour un fil long de 20 mm.	Pour un fil long de 40 mm.
6 gr.	17,7 ampères.	13,6 ampères.
800 »	24,2 »	14,1 »

L'influence du poids des bornes et de la longueur des fils est bien manifeste.

Le dernier point à étudier était la nature des métaux à employer. Toutes les expériences suivantes ont été effectuées en employant des fils montés verticalement entre des bornes du poids de 65 gr, et en laissant de côté l'influence du temps, qui a été complètement élucidée par les expériences de MM. Steens, Gates et Freeman, relatées plus haut; on a pris des durées supérieures à 30 secondes, afin d'obtenir des résultats réguliers.

Les métaux essayés ont été le cuivre, le plomb et les alliages de plomb et d'étain employés dans la pratique.

Le cuivre présente de grandes qualités au point de vue de la régularité, mais sa trop grande conductibilité et son point de fusion élevé empêchent de l'employer en pratique.

Les alliages ont été fournis par deux constructeurs différents, en vue d'obtenir des données directement applicables en pratique.

Ces deux alliages sont d'ailleurs très voi-

La méthode harmonique ne permet pas de déterminer la phase ni la forme de la courbe. sins l'un de l'autre à tous les égards ; ils ont donné les résultats suivants :

Composition.	Alliage *a*.	Alliage *b*.
Pb	60,9	65,6 p. 100.
Sn	37,5	33,9 »
Cu	0,6	» »
Résistivité, à 20° C. . .	15,3	16,0 microhms : cm.
Température de fusion.	190°	180°

Dans les conditions relatées plus haut, si l'on fait varier la longueur des fils, et qu'on porte en ordonnées les intensités de fusion et en abscisses les longueurs, on voit que les courbes représentatives sont des hyperboles sensiblement équilatères, dont les asymptotes sont parallèles aux abscisses ; ce résultat et dû à l'influence refroidissante des attaches ; si l'on répète les mêmes expériences avec des fils de diamètres différents, les courbes obtenues pour chaque diamètre sont aussi des hyperboles d'autant plus éloignées des axes que le diamètre est plus fort, mais toutes ces courbes sont identiques, c'est-à-dire que pour un même rapport du diamètre à la longueur l'intensité de fusion est indiquée par un même point de la courbe ; cela permettra, en prenant les inverses des longueurs au lieu des longueurs elles-mêmes, de représenter la marche des phénomènes par des droites, ce qui est d'un emploi très commode en pratique.

Enfin, M. Laporte s'est occupé de vérifier si la loi de Preece,

$$I = kd^{\frac{2}{3}},$$

est strictement applicable. Il est conduit à la négative. On peut bien représenter la marche du phénomène par une équation de la forme

$$I = kd^n$$

mais il faut donner à l'exposant n une valeur différente pour chaque métal. Voici les chiffres obtenus par M. Laporte :

Nature des métaux.	Valeur de n.	Valeur de k.
Plomb	1,22	9,5
Alliage *a*.	1,19	7,8
— *b*.	1,18	7,2
Cuivre.	1,00	

Ces expériences seront continuées sur des fils qui sont en service depuis près de dix ans soit sur les réseaux du chemin de fer du Nord soit au Conservatoire des Arts et Métiers afin d'étudier si le passage prolongé du courant n'entraîne pas une modification du métal susceptible d'altérer leur qualité. Elles seront complétées par l'étude de l'appareillage.

Nous analyserons très brièvement la communication de M. A. Abraham sur *les oscillographes et méthodes d'enregistrement des courbes de courants alternatifs ;* elle offre un intérêt trop grand pour être résumée hâtivement ; elle fera l'objet d'une étude spéciale qui sera publiée prochainement dans nos colonnes.

Les méthodes employées pour déterminer la forme des courbes du courant alternatif peuvent être partagées en deux catégories :

1° Les méthodes électro-optiques et électrochimiques ;

2° Les méthodes purement électriques ;

M. Abraham passe en revue successivement la méthode harmonique, proposée à peu près simultanément par M. Tiéping et M. Claude, la méthode électro-optique de M. Crehore [1], employée par M. Pionchon, puis perfectionnée par MM Buisson et Abraham, la méthode de M. Hess [2], utilisant l'action des aimants sur les rayons cathodiques, la méthode électrochimique de M. Janet [3], la méthode du contact instantané, due à M. Joubert et souvent employée depuis par de nombreux expérimentateurs, la méthode stroboscopique proposée par M. Janet et M. Blondel, et enfin, les méthodes d'inscription des courbes entières par les oscillographes ou rhéographes de M. Blondel et de M. Abraham [4].

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 337, 23 février 1896.

(2) *La Lumière Électrique*, t. LIII, p. 91, 14 juillet 1894. Voir aussi F Braun, *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 131, 10 juillet 1897.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 241, 9 février 1895. Voir aussi A. Blondel, *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 83.

(4) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 145 et 462, 17 avril et 29 mai 1897.

La méthode électro-optique est en principe très parfaite; le rayon lumineux n'ayant aucune masse, l'action est, en effet, instantanée. La méthode employée a été indiquée par M. Crehore; elle consiste à faire passer un rayon de lumière polarisée dans un tube sur lequel est enroulé un fil parcouru par le courant à étudier ; on reçoit ce rayon sur un analyseur dont la rotation nécessaire pour produire l'extinction permet de déterminer l'intensité de l'action produite. Dans la méthode employée par MM. Buisson et Abraham, on enroule sur le même tube un second fil parcouru par un courant continu agissant en sens contraire du courant alternatif et dont on règle l'intensité de façon à produire l'extinction qui était produite par la rotation de l'analyseur dans le dispositif précédent ; lorsque ce résultat est atteint, les deux courants ont la même intensité, et la mesure facile du courant continu permet de connaître la valeur du courant alternatif instantané. On détermine ainsi successivement tous les points de la courbe.

La méthode électrochimique de M. Janet permet de tracer tous les points de la courbe en une même expérience. L'appareil consiste en un cylindre tournant sur lequel est tendu un papier imprégné d'une composition chimique, comme dans le télégraphe de Bain et sur lequel viennent frotter plusieurs styles de fer, reliés au circuit ; lorsque le style est positif, il laisse une trace noire sur le papier ; si l'on met en outre chaque style en communication avec une source de courant continu, de façon qu'il soit négatif et porté à un potentiel de *n* volts, chaque style, par les traces noires qu'il laissera sur le papier, indiquera pendant combien de temps la tension du courant a été supérieure à celle du style correspondant ; en employant un nombre de styles assez grands, on détermine ainsi tous les points de la courbe.

La méthode du contact instantané de M. Joubert est trop connue pour qu'on ait à y insister. Le savant professeur avait reconnu que la forme des courbes d'alternateurs n'est pas rigoureusement sinusoïdale ; il avait même fait remarquer qu'elles s'éloignaient souvent beaucoup de cette forme théorique ; pourtant, dans les calculs, on adopte toujours l'hypothèse des courants sinusoïdaux ; il ne faut donc pas s'étonner des résultats en apparence contradictoires que donnent souvent le calcul et l'expérience.

La méthode du contact instantané peut être employée avec différents appareils de mesure : électromètres, galvanomètres, condensateurs et galvanomètres balistiques, M. Duncan y a apporté une modification intéressante, qui consiste à lancer le courant à étudier dans une des bobines d'un électrodynamomètre dont l'autre enroulement est parcouru par un courant continu d'intensité connue.

Quelle que soit le procédé de mesure employé, la méthode du contact instantané présente les défauts suivants :

1° Si l'on emploie un électromètre, elle exige des isolements très soignés ;

2° Avec le galvanomètre, elle demande un contact parfait, non susceptible de se subdiviser en plusieurs contacts successifs, pour la prise de courant ;

3° Si les mesures sont faites hors de l'usine, elle exige l'emploi d'un moteur synchrone qui introduit une cause d'erreur sensible par suite des différences qui existent entre la marche de ce moteur et celle de l'alternateur ;

4° Enfin, son défaut le plus grave est que la durée des expériences est trop longue. Pendant la durée de ces expériences, la vitesse de rotation de l'alternateur varie généralement d'une façon très sensible et ses conditions physiques ne restent pas constantes par suite de l'échauffement, de l'hystérésis ; on n'obtient donc que des moyennes très approximatives.

Pour prouver combien ces écarts sont considérables, M. Abraham projette quatre courbes obtenues avec son rhéographe à 1 seconde d'intervalle ; aucune de ces courbes n'est identique à sa voisine ; chacune

d'elles a un maximum différent; leur forme n'est pas la même et bien que deux d'entre elles se superposent sur une partie de leur tracé, elles divergent ensuite. Les résultats fournis par la méthode du contact instantané ne peut révéler ces conditions.

Il y avait donc un grand intérêt à construire un appareil permettant d'enregistrer en une seule expérience la forme complète de la courbe.

C'est le résultat qu'obtint M. Blondel, vers 1893, avec son oscillographe.

Cet appareil se compose, comme on sait, d'un galvanomètre à cadre mobile construit d'une façon spéciale pour que l'inertie de la partie mobile soit excessivement faible et l'amortissement très réduit; la mobilité est ainsi très grande et les déviations sont proportionnelles à chaque instant, à l'intensité actuelle du courant. Si l'amortissement est considérable, les déviations sont en partie étouffées; si au contraire il est trop faible, l'équipage mobile oscille pour son propre compte pendant les opérations et les courbes obtenues sont « festonnées » par ces oscillations parasites; de plus si la période d'oscillation propre du galvanomètre est la même à un moment donné que celle du courant, la courbe se trouve profondément altérée par suite des phénomènes de résonance qui viennent à se produire. Il faut donc que l'amortissement ait une valeur minima assez forte, ce qui limite la sensibilité de l'appareil. En outre, les mesures sont assez longues; M. Blondel a pu cependant obtenir une courbe en 5 minutes.

M. Abraham a cherché une solution générale du problème et à obtenir des déviations proportionnelles à la valeur instantanée du courant, non pas en négligeant certains termes, mais en contrebalaçant les forces retardatrices par l'action même du courant électrique. Pour cela il lance dans le galvanomètre non le courant principal à mesurer, mais un autre courant qui en dépend et qui est formé de la réunion de trois courants obtenus : 1° par une dérivation du courant principal; 2° par un courant induit du premier ordre; 3° par un courant induit du second ordre.

La sensibilité de cet appareil et l'exactitude des résultats obtenus, lorsque le réglage assez délicat est obtenu, sont vraiment merveilleux, et c'est au bruit des applaudissements de l'auditoire que M. Abraham a projeté les courbes fournis par son rhéographe. Il montre combien les courbes sont, en pratique, loin d'avoir la régularité qu'indiquaient les méthodes anciennes qui ne donnaient que des moyennes; dans une dynamo dont les balais crachent, on voit passer chaque touche du collecteur, indiquée sur la courbe par un feston très accentué.

Il fait voir ensuite l'importance pratique de l'étude attentive du fonctionnement des alternateurs dans les conditions industrielles, en projetant successivement la courbe d'un alternateur : 1° à vide; 2° branché sur un transformateur à vide; 3° branché sur un transformateur à pleine charge. La courbe très irrégulière et s'écartant énormément de la forme sinusoïdale théorique dans le premier cas se rapproche de cette forme dans le second cas et fournit une sinusoïde à peu près parfaite dans le troisième cas.

Il fait ensuite l'expérience directe et obtient devant l'auditoire la courbe du courant alternatif du secteur de la rive gauche, qui sert à l'éclairage de la salle des séances, fait remarquer que ce secteur ne marche pas encore à pleine charge car sa courbe au courant est encore déformée, puis montre l'effet de la capacité en intercalant un condensateur dont la décharge oscillante s'observe sur le tableau par les ondulations de la courbe, et enfin, montre la déformation en palier de la courbe produite par l'introduction d'un arc électrique dans le circuit. Ces expériences d'une clarté absolue ont été une révélation pour bien des membres de la Société et ont valu à leur auteur une ovation bien méritée par ses remarquables travaux. G. P.

Sur la polarisation partielle des radiations lumineuses sous l'influence du champ magnétique ;

Par N. Egoroff et N. Georgiewsky [1].

« Depuis la dernière Note, que nous avons eu l'honneur de présenter à l'Académie dans sa séance du 3 mai [2], nous avons continué nos expériences et nous sommes arrivés à quelques nouveaux résultats sur lesquels nous nous permettons d'attirer l'attention de l'Académie.

» 1. L'intensité lumineuse d'un bec Bunsen augmente toujours sous l'influence du champ magnétique.

» 2. Si l'on observe le spectre de diffraction (réseau plan de Rowland) du sodium d'un brûleur Drummond à l'aide d'un prisme de Wollaston, on peut constater que le champ magnétique polarise partiellement chacune des images dans deux plans perpendiculaires : l'une des images s'élargit très peu, l'autre s'élargit notablement (devient de deux fois à deux fois et demie plus large) et, en même temps, sa partie centrale devient noire. Ce fait a déjà été signalé par M. Zeeman [3].

» Si nous réglons la température du brûleur de façon à obtenir, sans mettre en jeu le champ magnétique, le renversement de la partie centrale des raies D_1 et D_2 du sodium, on constate dans le champ magnétique, dont l'intensité n'a pas varié (8000), que l'une des images du prisme de Wollaston est un peu élargie, tandis que, dans l'autre image, très élargie, on voit apparaître *deux* raies noires. Ce fait montre l'importance que joue la température dans les phénomènes que nous étudions.

» 3. Presque tous les métaux dont la partie visible du spectre n'accuse aucune modification dans le champ magnétique (8000) ont leurs raies spontanément renversables dans la partie ultra-violette de leur spectre. Ce fait nous oblige à rechercher l'influence du champ magnétique sur la partie ultra-violette du spectre.

» 4. Les raies fines des métalloïdes, obtenues par la méthode de M. de Gramont, restent sans modification dans le champ magnétique. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 36, séance du 5 juillet 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 518, 5 juin 1897.

(3) *Comptes rendus*, 21 juin 1897. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 506, 5 juin 1897 et t. XII, p. 77, 3 juillet 1897.

La déviation magnétique des rayons cathodiques et des rayons X ;

Par G. de Metz [1].

« Au sujet de ma Communication du 20 avril 1896, ainsi que celle du 10 août 1896 [2], M. H. Poincaré a émis l'opinion que les photographies dont j'y parle ont été probablement obtenues à l'aide des rayons X, provoqués par les rayons cathodiques après leur choc contre le couvercle en carton ou en aluminium de mon châssis, et non par les rayons cathodiques eux-mêmes. Pour vérifier cette hypothèse et mettre mes recherches antérieures à l'abri de tout doute, j'ai entrepris une nouvelle série d'expériences, dont je présente maintenant les résultats à l'accueil bienveillant de l'Académie.

» Tout d'abord, ces expériences nous montrent que les rayons cathodiques gardent bien leur nature, et qu'il ne leur suffit point de rencontrer un obstacle pour devenir des rayons X. Pour démontrer cette proposition, j'ai eu recours aux phénomènes de la réflexion des rayons cathodiques sur le miroir de platine ainsi qu'aux phénomènes plus compliqués de leur absorption dans une couche mince d'aluminium, et je trouvais toujours que les rayons réfléchis par le platine et les rayons transmis par l'aluminium étaient sensibles à l'action déviatrice de l'aimant, ce qui prouve qu'ils sont restés cathodiques, selon la convention actuelle. Dans toutes ces recherches, les rayons ont été éprouvés à une

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 17, séance du 5 juillet 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 419, 29 août 1896.

distance de 30 cm à 50 cm de la cathode, afin d'être sûr que l'action magnétique s'exerçait justement sur le bout observé du faisceau cathodique et non sur celui près de la cathode elle-même ; ces distances, d'ailleurs, ont été choisies d'après l'expérience préalable.

» Ces résultats et encore d'autres, dont je ne peux pas ici rendre compte en peu de mots, m'autorisent à penser que mes photographies ont été obtenues à l'aide des rayons cathodiques.

» En même temps, je tentais la déviation magnétique des rayons X, et mes efforts m'ont amené au succès. J'ai pris, à cette fin, une ampoule de Crookes toute faite, en forme de poire, à cathode plane, et j'ai collé à son anticathode un long tube en verre, de forme cylindrique, qui s'adaptait, par son extrémité libre, à une pompe de mercure, pour y faire du vide au degré voulu. A l'intérieur de ce tube se trouvait un cylindre en aluminium relié au sol, afin d'éviter toute action perturbatrice des parois chargées sur le faisceau des rayons. Un bout de ce cylindre, celui d'en face de la cathode était protégé par un filet métallique, tandis que l'autre, recouvert d'une plaque d'aluminium, avait, tout près du fond, deux fenêtres aux mailles métalliques, à travers lesquelles on pouvait observer un écran de platinocyanure de baryum ; outre cela, au milieu de ce cylindre se trouvait un diaphragme en laiton épais, à ouverture circulaire, pour ne laisser passer qu'un mince faisceau de rayons.

» Dans ces conditions, les rayons X, partant de l'ampoule de Crookes, entrent dans le tube en verre, traversent les mailles du filet et l'ouverture du diaphragme, atteignent l'écran et provoquent la fluorescence, visible à travers les mailles des fenêtres. Tant que la pression de l'air dans ce tube est atmosphérique, on remarque bien la fluorescence de l'écran ; mais l'aimant ne peut pas encore produire une déviation de la tache lumineuse paraissant sur l'écran. Ce phénomène persiste jusqu'à une pression de 0,5 mm de mercure, tandis que, à partir d'ici, la tache lumineuse commence à être facilement déviable par un aimant, comme on l'observe d'après ses mouvements réguliers sur la surface de l'écran.

» En augmentant le degré du vide, on diminue la diffusion de la lueur fluorescente sur l'écran et l'on améliore notablement les conditions de l'expérience : la tache lumineuse ne se répand plus sur la surface entière du platinocyanure de baryum, elle se rétrécit, occupe la partie centrale et présente une ligne de démarcation entre le clair et l'ombre assez nette, à une pression de 0,008 mm.

» Quant au signe de cette action, j'ai constaté qu'elle était la même à l'intérieur de l'ampoule de Crookes et dans le cylindre décrit, à savoir : le pôle nord attirait ce faisceau lumineux et le pôle sud le répulsait.

» Quelle conclusion peut-on tirer de ces phénomènes ? Ou bien les rayons X subissent dans le vide l'influence magnétique, et alors comment les distinguer des rayons cathodiques ; ou bien les rayons cathodiques traversent les parois de l'ampoule en verre assez épais et ne se transforment pas en rayons X dans ce cas, et dès lors la distinction de ces deux espèces de rayons devient embarrassante. »

Sur les effets actino-électriques des rayons Rœntgen ;

Par S. Guggenheimer [1].

« M. Edmond Becquerel et, à sa suite, Hankel et d'autres savants ont établi que si, de deux électrodes plongées dans un liquide, on expose l'une à la lumière, il y a production d'un courant électrique dont le sens dépend des conditions de l'expérience. A l'aide d'une disposition expérimentale convenable, j'ai pu employer un tube de Crookes comme source de radiations actives et j'ai obtenu les résultats suivants :

» *Si l'on plonge deux électrodes identiques*

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 19, séance du 5 juillet 1897.

dans un liquide et si l'on expose ensuite l'une aux rayons de Rœntgen, il y a naissance d'un courant qui va ordinairement de la plaque exposée aux rayons X à l'autre par le circuit extérieur. L'intensité du courant dépend de l'intensité du rayonnement, et si ce dernier est intense, le courant change de sens pendant l'expérience [1].

Sur les rayons cathodiques;

Par J.-J. THOMSON [2].

« Les expériences décrites dans cette note dont deux espèces : les unes sont relatives au transport des charges électriques par les rayons cathodiques, les autres se rapportent à la déviation qu'éprouvent ces rayons quand ils traversent un champ magnétique uniforme.

» Dans les expériences sur les effets électriques produits par les rayons cathodiques, la cathode, un disque plan, était placée dans un petit tube soudé latéralement à une grande ampoule; entre le tube et l'ampoule était disposé un épais disque métallique connecté avec la terre de percé d'une fente; un faisceau de rayons cathodiques pénétrait par cette fente dans l'ampoule. Dans celle-ci et du côté opposé à la fente se trouvait un dispositif semblable à celui qu'employait Perrin dans ses expériences sur les charges transportées par les rayons cathodiques [3].

Ce dispositif consistait en deux cylindres concentriques; le cylindre extérieur était en communication avec la terre et le cylindre intérieur (lequel était isolé du précédent), était relié à une paire de quadrants d'un électromètre; des fenêtres étaient découpées dans les cylindres de manière que les rayons cathodiques puissent venir frapper la paroi interne du cylindre intérieur. Ces cylindres étaient placés à une distance assez grande de la normale à la cathode, de telle sorte, qu'à moins d'être déviés par un aimant, les rayons ne pénétraient pas dans le cylindre. On mesurait la charge du cylindre produite par chaque fermeture et chaque rupture du circuit primaire de la bobine d'induction produisant les rayons cathodiques. On trouva qu'une faible charge passait dans le cylindre quoique celui-ci ne soit pas sur le chemin direct des rayons; elle était probablement due à une charge diffusée envoyée du tube dans l'ampoule à travers la fente à chaque décharge de la bobine; généralement elle était négative mais pour les vides élevés elle était fréquemment positive. Quand les rayons, déviés par un aimant, tombaient sur le cylindre, celui-ci recevait une forte charge négative; cette charge était considérable quand la traînée phosphorescente était arrêtée par le cylindre, petite quand par le déplacement de l'aimant la traînée se trouvait déplacée d'un côté ou d'un autre du cylindre. Cette expérience paraît conduire à cette conclusion qu'il y a un flux d'électricité négative le long des rayons cathodiques; les suivantes montrent cependant qu'il doit y avoir quelque chose d'autre qu'un courant de particules électrisées négativement le long des rayons cathodiques. Si la bobine est maintenue en action la charge négative du cylindre ne croît pas indéfiniment; elle atteint une certaine limite et demeure alors constante quoique les rayons cathodiques continuent à tomber dans le cylindre. De plus si le cylindre interne est chargé négativement avant l'expérience et si cette charge négative dépasse une certaine valeur, on observe qu'une partie de *cette charge négative s'échappe* dès que les rayons cathodiques tombent sur le cylindre, bien que l'isolation de l'appareil soit parfait quand les rayons ne rencontrent pas le cylindre.

» Dans les expériences sur la déviation magnétique des rayons cathodiques ceux-ci étaient produits dans un tube latéral et en-

---

(1) Travail fait au laboratoire des recherches (Physique) de la Sorbonne.

(2) Note lue le 8 février 1897 à la Cambridge philosophical Society (*Proceedings of the Comb. phil. Soc.*, t. IX, p. 243.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 377, 22 février 1896.

voyés dans une grande cloche par une fente percée dans une plaque métallique. La cloche était placée entre deux bobines disposées comme dans un galvanomètre de Helmholtz de manière à produire un champ magnétique uniforme. Sur le trajet des rayons dans la cloche était placée une plaque de verre sur laquelle était tracé un quadrillage. On prit un grand nombre de photographies pour différents gaz à divers degrés de vide; voici quelques-uns des résultats obtenus :

» La déviation magnétique des rayons cathodiques dans l'air, l'hydrogène, le gaz carbonique et l'iodure de méthyle est la même pourvu que la différence de potentiel moyenne entre la cathode et l'anode soit la même.

» Parmi les rayons qui traversent la fente, il en est qui ne sont pas déviés par l'aimant; leur pouvoir de provoquer la phosphorescence est très faible, si toutefois il existe. La trajectoire des rayons était très approximativement circulaire sur la première partie de leur trajet. »

Observations au sujet de la note précédente;

Par H. Poincaré.

Hertz, dans des expériences relatées dans le tome XIX des *Annales de Wiedemann* avait déjà observé que les rayons cathodiques chargent négativement les corps sur lesquels ils tombent, mais que la charge négative ne peut dépasser une certaine limite. Une fois cette limite atteinte, les rayons peuvent continuer à entrer dans l'enceinte dont on mesure la charge mais sans modifier cette charge.

Ce résultat de Hertz était connu de M. Perrin qui le considérait comme contraire à ses propres expériences, mais qui l'expliquait en supposant un défaut d'isolement dans l'appareil de Hertz.

Il est à remarquer que les deux cylindres sont difficiles à isoler l'un de l'autre puisqu'ils sont dans le vide. Cependant la charge se maintient quand les rayons cathodiques cessent de passer.

Mais si j'ai bien compris ce que dit Hertz, ce savant a constaté un fait plus curieux et tout à fait inattendu. Si on arrête la bobine, les rayons cathodiques cessent d'entrer dans l'enceinte et la charge négative se maintient un certain temps.

Si, la bobine continuant à fonctionner, on dévie les rayons par un aimant de telle sorte qu'ils cessent d'entrer dans l'enceinte, cette charge disparaît instantanément.

Il serait à désirer que ce fait fût vérifié par des expériences nouvelles.

En résumé tout se passerait comme si l'isolement était moins bon quand la cathode émet des rayons cathodiques que dans le cas contraire.

Est-ce là un phénomène analogue à la décharge des conducteurs par les rayons X?

Sur les prétendues surfaces d'interférence au voisinage de la cathode et sur la répulsion électrostatique des rayons cathodiques;

Par E. Wiedemann et G.-C. Schmidt [1]

Lorsqu'une cathode présente des parties concaves ou bien représente la forme d'un tube, la lueur négative (couche tertiaire de Goldstein) se sépare en deux, autour de chaque concavité. Les auteurs donnent aux phénomènes qui proviennent de cette séparation, le nom de *phénomènes résultants* [2]. Les apparences lumineuses se réduisent généralement à des surfaces et dans certains cas à des lignes.

M. Jaumann considère ces surfaces comme des surfaces d'interférence des rayons cathodiques [3]. Cependant cette explication ne pa-

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 510-518; 1897.

[2] L'expression allemande « *Summationsgebilde* » ne peut être traduite exactement en français. (N. du T.)

[3] Voir à ce sujet :
G. Jaumann, Déviation électrique des rayons cathodiques (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 321, 18 mai 1896).
H. Poincaré, Observations au sujet de la communication précédente. (*Idem*, t. VII, p. 322.)
Les rayons cathodiques et la théorie de Jaumann. (*Idem*, t. IX, p. 341 et 289, 7 et 14 novembre 1896.

raît pas très plausible, si on remarque que ces surfaces se forment avant que les rayons cathodiques n'aient pris une longueur appréciable. Même aux pressions très basses, alors que ces surfaces résultantes ont presque totalement disparu, les rayons cathodiques sortent parallèlement à ces surfaces.

D'autre part, en répétant l'expérience sur laquelle M. Jaumann appuie son explication, MM. Wiedemann et Schmidt n'ont pu obtenir les résultats trouvés par ce physicien. La disposition schématique de cette expérience est représentée par la figure 1. Le fil *a* est

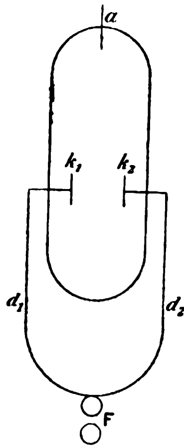


Fig. 1.

relié au pôle + de la source (machine de Tœpler à 1 plateau ou une autre machine du même type à 20 plateaux). Les cathodes k_1 et k_2 sont des sphères de 0,37 cm de rayon ou bien des disques circulaires de 0,9 cm de rayon ou enfin des plaques rectangulaires de $1,9 \times 5,2$ cm.

Les surfaces résultantes sont faciles à observer surtout avec les sphères. Les couches tertiaires sont particulièrement brillantes sur les côtés des sphères qui se font face. Dès qu'elles se sont rencontrées, longtemps avant que les rayons cathodiques n'aient pris une longueur sensible, on voit apparaître une région plus brillante, qui s'étend à mesure que le vide est plus poussé, et qui ne forme jamais un cercle entier, mais un anneau circulaire : cet anneau se forme là précisément où les couches tertiaires émanées des deux sphères se croisent. Si on met dans le circuit un interrupteur à étincelles, le diamètre de l'anneau diminue comme celui des couches lumineuses.

1. En faisant varier la distance des deux cathodes, on voit se produire, quand la pression a une valeur convenable, un disque lumineux au moment où les couches tertiaires se pénètrent : ce disque se transforme en anneau quand on approche davantage les cathodes. Un écran de papier frotté de craie, placé près des sphères de façon qu'il coupe les surfaces résultantes, ne montre de lumière rouge que si le circuit renferme un interrupteur à étincelles : mais cette lumière apparaît également de part et d'autre de la courbe d'intersection : il se forme ainsi une « surface de déviation » plus brillante sur les bords. Des surfaces analogues se forment sur les parois du tube : leur forme s'obtient par les règles de construction que Goldstein a données.

2. Lorsque les cathodes sont les plaques rectangulaires distantes de 10 mm ou de 6 mm, il se forme encore entre les deux des surfaces résultantes, lorsqu'on diminue la pression ; larges d'abord, elle se rétrécissent ensuite de plus en plus. Sur les parois du tube se montre plus tard une surface vert clair, qui provient des rayons cathodiques émis par la plaque. Aux pressions très basses apparaît dans cette surface une zone moyenne d'un éclat plus grand et qui résulte des rayons cathodiques, qui se diffusent dans le plan médian des deux plaques, longtemps après que les surfaces résultantes ont disparu.

3. Les mêmes phénomènes s'observent avec les cathodes formées de disques circulaires.

Dans toutes les expériences, la surface résultante reste toujours aussi nette, que les fils d_1 et d_2 soient également longs ou diffèrent de plusieurs mètres. Avec les sphères, elle commence seulement à devenir un peu floue, lorsque la différence atteint 20 m. Avec les

plaques rectangulaires, elle reste parfaitement nette avec une différence de 20 m; mais la zone moyenne est alors indistincte, quoiqu'elle fût encore nette lorsque d_1 et d_2 différaient de 10 m.; la surface résultante est nette encore, mais séparée des plaques par des intervalles obscurs, quand ces plaques forment les extrémités d'un réseau de Lecher, avec un pont: dans ces conditions les oscillations dans les deux plaques ont des phases opposées.

La rétrogradation de la surface vers l'une des cathodes, observée par M. Jaumann, quand les fils d_1 et d_2 sont inégaux, a été retrouvée seulement lorsque le contact était imparfait.

Les résultats différents obtenus par M. Jaumann proviennent sans doute de ce que l'une des plaques, pour une raison quelconque, recevait plus d'énergie que l'autre et, par suite, les cathodes cessaient d'être identiques entre elles.

En somme, les surfaces résultantes ne paraissent pas être des surfaces d'interférence au sens propre du mot et il n'est pas légitime de tirer de leurs propriétés une conclusion relative à la longueur d'onde des rayons cathodiques.

Répulsion électrostatique apparente des rayons cathodiques. — D'après les expériences faites sur ce sujet par MM. Wiedemann et Schmidt, ce ne seraient pas les rayons catho-

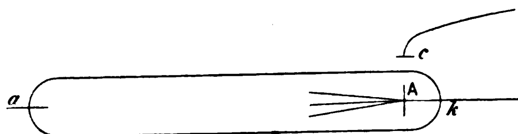


Fig. 2.

diques qui seraient déviés; seulement le centre d'émission serait changé et ce déplacement serait dû, non pas à une action électrostatique directe sur les rayons cathodiques, mais à une modification du champ.

1° Le conducteur *c* (fig. 2) est relié au sol. Le centre d'émission A est repoussé d'abord, mais revient bientôt à sa position primitive. Lorsqu'on supprime la communication avec le sol, on observe une petite attraction;

2° Le conducteur *c* est relié au sol d'une manière permanente. On place le doigt sur *a* et on le retire alternativement: les déplacements deviennent plus grands;

3° Suivant que *c* est chargé positivement ou négativement, le centre d'émission et les rayons cathodiques sont repoussés ou attirés d'abord, attirés ou repoussés au moment de la décharge.

Il résulte de ces observations que les mouvements correspondent aux phénomènes de charge et de décharge pendant lesquels le champ électrostatique éprouve une modification. Dans d'autres expériences, la disposition était tout à fait analogue à celle de M. Jaumann. La cathode est en K (fig. 3),

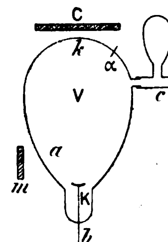


Fig. 3.

le tube *c* conduit à la pompe et l'anode se trouve dans un tube latéral. Lorsque le courant passe directement, on observe une tache verte *k* sur la paroi qui fait face à la cathode, vis-à-vis le centre. Si on relie la cathode K au pôle négatif d'un micromètre à étincelles dont le pôle positif communique avec le sol ou bien est isolé, la tache *k* s'entoure d'un anneau vert clair, comme l'a signalé M. Jaumann: le tube est alors le siège d'oscillations intenses. Cet anneau provient des rayons émis par le bord de la cathode, presque normalement à sa surface, comme les rayons cathodiques, et qui deviennent très intenses quand se produisent les oscillations. Si on place en *a* un écran de mica, on voit apparaître en α, sur la paroi opposée une tache sombre. Les phénomènes sont nets surtout quand on prend pour anode une plaque C

extérieure au tube et qu'on place à côté du tube une feuille de métal *m* isolée, qui se charge positivement ou négativement, quand elle est reliée à C ou à *b*. Les déplacements sont alors permanents; si *m* est relié à *b*, le centre d'émission des rayons cathodiques est attiré par *m* et la tache repoussée: c'est l'inverse si *m* est relié à l'anode α. Le voisinage des diélectriques ou d'une bouteille de Leyde chargée, ne modifie pas essentiellement les phénomènes.

Comme la tache centrale *k* n'est jamais repoussée en dehors de l'anneau (Jaumann), il s'ensuit que le centre d'émission se déplace au plus jusqu'au bord de la cathode et que le faisceau de rayons qui émanait primitivement du centre de la cathode coïncide presque alors avec celui qui émane du bord.

Les auteurs concluent de ces faits que la déviation électrostatique des rayons cathodiques n'est pas un phénomène primaire, mais un phénomène secondaire consécutif à des perturbations du champ électrique.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Power distribution for electric Railroads (La distribution de l'énergie électrique pour la traction), par Louis Bell. — Un vol. in-8° de 268 pages, avec 139 figures dans le texte. New-York, 1897. — *Street Railway Publishing Company*, éditeur.

La distribution de l'énergie électrique est un des problèmes pratiques les plus importants que l'ingénieur doit traiter; les dépenses en cuivre dans les canalisations atteignent des sommes énormes et il importe de les réduire autant que possible par une étude approfondie du service à effectuer et par la connaissance des meilleures méthodes à adopter. Cette étude est particulièrement difficile dans l'industrie de la traction par suite de la mobilité des charges, des variations continuelles de l'importance de chacune d'elles et de la nécessité où l'on se trouve de mettre en service, en certains points et à certaines heures, un nombre de voitures beaucoup plus considérable que d'ordinaire; elle se complique encore par suite de l'étendue considérable et de la complexité des réseaux dans les grandes villes, par la longueur des lignes des tramways interurbains et des chemins de fer. En fait, le calcul d'un réseau de tramways est un problème tout spécial et chaque cas particulier doit être traité différemment des autres.

L'ouvrage de M. Louis Bell qui traite complètement tous les cas pratiques et expose les différentes méthodes à employer, rendra donc de réels services.

La méthode générale de calcul employée en Amérique pour déterminer la section des conducteurs est celle de la perte de charge; elle donne des résultats suffisamment approchés, en raison des variations continuelles du débit, mais à la condition que l'ingénieur chargé de l'étude ait su, par l'évaluation préalable du trafic probable, déterminer exactement quelles seront les charges maxima en un point donné; c'est une connaissance que seule la pratique et un jugement sain peuvent donner.

C'est cette méthode que M. Bell développe. Dans le premier chapitre, il expose les principes sur lesquels sont basés les calculs, en insistant particulièrement sur l'évaluation des charges, sur la détermination de leur centre de gravité où doit se faire l'alimentation.

Le circuit de retour fait l'objet du second chapitre; l'éclissage électrique et la soudure des rails, la résistance du sol, les phénomènes d'électrolyse et les moyens de les éviter, y sont traités en détail.

Ces principes posés, l'auteur aborde l'étude des principaux types de réseaux. Dans le chapitre III, il étudie les réseaux à alimentation directe par usine centrale. Dans les chapitres suivants, il étudie les réseaux trop longs pour être alimentés directement: le chapitre IV est consacré aux survolteurs, au système à trois fils qui est étudié très complètement, à la distribution en série; dans le

chapitre suivant, est étudié le cas où le développement du réseau et l'importance du trafic conduisent à l'emploi de plusieurs usines au lieu d'une seule, en se basant sur la comparaison économique des frais de premier établissement et des dépenses d'exploitation d'usines de puissances différentes ; enfin, au chapitre VI, est étudié le cas des transmissions à longue distance, par courants alternatifs à haute tension et emploi des transformateurs rotatifs pour convertir le courant alternatif en courant continu.

Dans le chapitre VII, l'auteur envisage la possibilité d'employer les moteurs à courants alternatifs, monophasés ou polyphasés sur les voitures de tramways ; il étudie les propriétés de ces moteurs, leur alimentation et leur régulation et leurs avantages au point de vue économique :

« Pour toutes distances et pour toutes les pertes en ligne admissibles, conclut-il, un bon système à courants alternatifs se place au premier rang et, si l'on excepte les très faibles distances, il serait préférable. »

Enfin, dans les deux derniers chapitres sont étudiées les lignes de tramways interurbains et les chemins de fer électriques ; les premiers diffèrent des tramways urbains par leur grande longueur, la faible densité de population des régions qu'ils desservent et des plus grandes vitesses qu'ils permettent d'adopter ; les secondes forment une classe absolument distincte des tramways par suite des grandes distances sur lesquelles doit se faire la distribution d'énergie, par le poids plus considérable de chaque unité mobile, par la moindre fréquence des départs, par les plus grandes vitesses à réaliser et par la possibilité d'employer des procédés d'alimentation différents de ceux des tramways où les voies étant en même temps utilisées par les piétons et les voitures ordinaires, les conditions de sécurité prennent une place prépondérante ; M. Bell examine successivement tous ces points, étudie les conditions dans lesquelles l'électricité peut lutter économiquement contre la vapeur, et décrit les procédés de construction et les méthodes d'exploitation adoptées sur les principales lignes actuellement existantes.

En résumé, cet ouvrage sur un sujet tout spécial, écrit par un spécialiste de haute valeur, sera lu avec profit par tous ceux — et ils sont nombreux — qui consacrent leurs efforts au développement de la traction électrique.

G. Pellissier.

CHRONIQUE

Influence d'une tension sur la constante diélectrique du verre. — M. O.-M. Corbino décrit dans les *Beiblatter* (1897, n° 3, p. 238) quelques expériences qu'il a faites dans le but de reconnaitre cette tension.

Dans ces expériences l'auteur prenait un condensateur formé d'une plaque de verre de 15 cm de large de 0,31 cm d'épaisseur sur les deux côtés de laquelle étaient fixées, au moyen de paraffine, deux plaques de laiton. L'une de celles-ci était reliée à l'une des paires de quadrants d'un électromètre, l'autre paire communiquant avec une armature d'un condensateur à lame d'air à capacité variable; les armatures libres des deux condensateurs étaient reliées à un pôle d'une bobine de Ruhmkorff; l'autre pôle, ainsi que l'aiguille de l'électromètre étaient en communication avec la terre. La capacité du condensateur à lame d'air étant réglée pour que l'aiguille de l'électromètre reste au zéro, on suspendait des poids à la lame de verre du second condensateur; l'aiguille déviait et l'on mesurait la variation de capacité qu'il fallait donner au premier pour la ramener au zéro.

L'auteur a ainsi trouvé qu'une traction perpendiculaire aux lignes de force produit une diminution de la constante diélectrique du verre et que cette diminution est proportionnelle au poids produisant la traction.

Représentation discontinue du courant électrique dans les conducteurs. — Dans un des récents numéros de l'*Elektrochemische Zeitschrift* (1897, p. 1 à 13), M. L. Sillberstein exposait une théorie nouvelle de la constitution moléculaire des conducteurs; M. Houllevigue, dans le dernier numéro du *Journal de Physique*, donne de ce travail le résumé suivant : L'auteur insiste en commen-

çant sur les difficultés que l'on rencontre à définir la conductibilité et la force électrique à l'intérieur d'un conducteur solide, difficultés qui ont déjà été signalées par Boltzmann. Il cherche à les lever en considérant les conducteurs réels comme formés de particules conductrices noyées dans un milieu isolant, qui peut être comme cas particulier l'éther lumineux. Le courant électrique dans un semblable milieu, serais alors constitué par une série de décharges disruptives très fréquentes, se produisant de l'une à l'autre des particules conductrices.

En appliquant le calcul au cas simple d'un corps formé de feuillets alternativement conducteurs et isolants, on retrouve les lois d'Ohm et de Joule, et la conductibilité spécifique a pour expression.

$$C = \frac{K}{8\pi} = \frac{1+s}{\pi},$$

K étant le pouvoir inducteur les feuillets isolants, s le rapport de l'épaisseur des feuillets conducteurs à celle des feuillets isolants, et c l'intervalle de temps entre deux décharges consécutives.

M. Silberstein montre comment ce cas particulier peut être généralisé en considérant des particules conductrices distribuées irrégulièrement, ce qui mène aux propriétés des conducteurs isotropes et anisotropes.

Il parait difficile de concevoir, dans cette théorie, comment une différence de potentiel infiniment petite peut donner naissance à un courant dans un conducteur.

Essais de coupe-circuits électromagnétiques et de rhéostats automatiques pour moteurs électriques. — Afin de se mettre en règle avec certains règlements nouveaux concernant le fonctionnement des moteurs électriques et la sécurité des installations, divers constructeurs américains ont fait soumettre leurs appareils les plus perfectionnés à une série d'essais en présence de M. A. Henderson l'inspecteur en chef du Fire Departement Inspection Bureau et M. A. Williams, l'inspecteur en chef des installations électriques. Ces essais ont été effectués à la station centrale Edison de la rue Duane sous la direction de M. Van Vleck l'ingénieur-électricien de la station. Les appareils soumis aux essais, nous dit *The Electrical World* dans l'article quelle consacre à ce sujet, peuvent se classer suivant deux types bien distincts : les coupe-circuits électromagnétiques et les rhéostats automatiques. Tous sont, comme on le sait, destinés à protéger les moteurs ou autres installations contre l'afflux subit d'un courant trop intense, les premiers en les mettant automatiquement hors circuit, les seconds en introduisant, dans des circonstances analogues, une résistance qui absorbe l'excès de courant.

On s'est servi, pour effectuer les essais d'une trentaine d'appareils divers appartenant aux deux classes citées plus haut, d'un moteur de 5 chevaux auquel on avait adapté un frein de Prony. On éprouvait les coupe-circuits automatiques en augmentant graduellement la charge du moteur et les rhéostats en établissant un court-circuit. Dans ces essais tous les appareils éprouvés ont fonctionné avant la fusion des plombs. D'autres essais ont également été des plus concluants ; dans aucun d'eux on n'a eu à constater l'inconvénient souvent redouté de l'ouverture à demi du commutateur, ce qui peut donner lieu à la formation d'arcs nuisibles sinon dangereux.

Essai des ustensiles en aluminium. — Il ne manque pas aujourd'hui de procédés pour déterminer très exactement les impuretés contenues dans l'aluminium commercial, en particulier le procédé indiqué par M. Moissan et reproduit dans ce journal (*L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 567). Mais ces procédés sont toujours fort longs et ne conviennent guère pour s'assurer au moment de leur réception si des ustensiles en aluminium, en usage dans l'armée, satisfont aux conditions imposées. A la suite de nombreux essais, M. Balland est arrivé à trouver un procédé à la fois rapide et précis qu'il communiquait à la séance de l'Académie des sciences du 7 juin.

Le métal employé dans ces ustensiles est l'aluminium seul ou l'aluminium allié au cuivre. Dans le premier cas l'aluminium doit être au titre de 0,995 avec une tolérance de 0,005 en moins, c'est-à-dire qu'il doit contenir de 99 à 99,5 p. 100 d'aluminium pur. Dans le second cas, la proportion de cuivre doit être comprise entre 2 et 3 p. 100. Le mode opératoire de l'essai diffère suivant le cas.

Aluminium seul. — On met dans une fiole d'attaque 0,5 gr du métal coupé en menus mor-

ceaux, on ajoute 50 cm^3 d'eau distillée et 10 cm^3 d'acide chlorhydrique pur. L'action ne tarde pas à se manifester et à s'affirmer de plus en plus à mesure que la liqueur s'échauffe. Dès que le dégagement de gaz commence à se ralentir, on porte la fiole à l'étuve à une température inférieure à 100° et on ne la retire que lorque tout dégagement a cessé. Dans ces conditions, le silicium, le carbone et le cuivre ne sont pas attaqués; ils sont recueillis sur filtre, lavés et pesés après calcination.

Pour doser le fer, on ajoute à la moitié de la liqueur filtrée, comprenant les eaux de lavage, un excès de potasse à 10 p. 100, suffisant pour dissoudre l'alumine, et on laisse à l'étuve pendant une demi-heure. On recueille, sur un petit filtre sans plis, le dépôt ocracé qui s'est rassemblé au fond du vase; on le lave à l'eau distillée chaude, on verse sur le filtre quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur à 5 p. 100, de façon à dissoudre entièrement le contenu. On recueille à part la liqueur acide qui a traversé le filtre, puis, comme précédemment, on ajoute un excès de potasse; on met à l'étuve et, lorsque le dépôt d'oxyde de fer, ainsi exempt d'alumine, s'est bien rassemblé, on le sépare par le filtre, on lave pour enlever toutes traces de potasse et l'on pèse, après calcination sur une lamelle de platine préalablement tarée.

Dans l'autre moitié de la liqueur primitive, on dose à la fois l'aluminium et le fer, suivant les indications classiques, en ajoutant, à chaud, un léger excès d'ammoniaque pure. En retranchant du poids trouvé le poids de l'oxyde de fer obtenu plus haut, on a le poids de l'alumine seule et, par le calcul, la proportion d'aluminium pur.

L'industrie française livre actuellement des aluminiums qui se dissolvent presque entièrement à froid dans l'acide chlorhydrique à 20 p. 100, ne laissant même souvent qu'un très léger dépôt noir, à peine appréciable à la balance. Le silicium, le carbone et le cuivre ont, à peu près, disparu. Le fer, qu'il y a non moins d'intérêt à voir disparaître, a beaucoup diminué; mais les progrès réalisés ont été moins marqués que pour le silicium : de 1,20 gr p. 100 que M. Balland trouvait en 1891, il n'est encore tombé qu'à 0,5 gr p. 100.

Aluminium allié au cuivre. — On met dans deux fioles d'attaque 0,5 gr du métal coupé en morceaux, on ajoute 50 cm^3 d'eau distillée et seulement 5 cm^3 d'acide chlorhydrique pur. L'attaque se produit plus rapidement qu'avec l'aluminium seul. Quand le dégagement de gaz commence à se ralentir, on porte les fioles à l'étuve à une température inférieure à 100° et on les retire lorsque l'on ne voit plus de bulles gazeuses. Les opérations durent moins d'une heure. Le cuivre reste absolument intact sous la forme d'un amas rougeâtre, spongieux. On verse sur un filtre sans plis le contenu de l'une des fioles, on lave le dépôt à l'eau distillée chaude, on calcine et l'on pèse. Dans la liqueur filtrée, on dose, comme ci-dessus, le fer et l'aluminium.

L'autre fiole permet de s'assurer s'il y a du silicium ou du carbone. A cet effet, on ajoute 25 à 30 gouttes d'acide nitrique pur et l'on chauffe modérément à feu nu. En quelques minutes, tout le cuivre disparait et il ne reste que le silicium et le carbone que l'on peut recueillir sur filtre et peser après lavage et calcination.

Les valeurs relatives des divers étalons de résistance. — Dans les *Beiblatter* (1897, n° 3, p. 240), M. St Lindeck donne des résultats de la comparaison qu'il a faite des étalons de résistance de la Physikalisch-Technischen Reichsanstalt et de ceux du Cavendish Laboratory (Cambridge). Il a trouvé :

1 ohm légal = 1,01063 ohm B. A.
1 ohm international = 1,01349 ohm B. A.

Dans le rapport du Comité des étalons électriques, M. Glazebrook indiquait comme valeur moyenne de l'ohm légal :

1 ohm légal = 1,01061 ohm B. A.

ERRATA

M. Hollard nous prie de signaler les additions suivantes au texte de sa note : ***Analyse des bronzes et des laitons par voie électrolytique,*** reproduite dans notre dernier numéro, page 127, d'après les *Comptes rendus :*

Page 128, 1re colonne, ligne 17, *lire :* enfin. on l'électrolyse après l'avoir *étendue à* 350 *cm^3 et l'avoir* chauffée à 90° environ;

Page 128, 2e colonne, ligne 3, *lire :* enfin 3 cm^3 d'acide acétique cristallisable; *on étend à* 350 *cm^3*.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 24 Juillet 1897. 4e Année. — N° 31.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE

La télégraphie sous-marine commence à prendre en France l'importance qu'elle aurait dû depuis longtemps déjà avoir. On commence à sentir qu'il y a intérêt pour un pays comme le nôtre à avoir un réseau télégraphique national, sans être obligé de passer par les lignes étrangères. — C'est ainsi que depuis quelques années la France se trouve en possession d'un réseau qui, pour n'être pas comparable à celui de l'Angleterre, commence néanmoins à avoir une certaine importance.

Jusqu'à ce jour, la télégraphie française avait été tributaire des Anglais pour tout le matériel des exploitations (on pourrait presque dire pour tout le personnel des stations). On se sert presque exclusivement, en effet, sur tous les câbles, des siphons-recorders, dus à sir William Thomson, et dont les perfectionnements successifs ont fait des appareils véritablement merveilleux. On sait que le recorder se compose d'un petit écheveau de fil (analogue à un cadre de galvanomètre d'Arsonval), placé dans un fort champ magnétique, qui actionne un petit siphon capillaire, en verre, plongeant par le haut dans un encrier, et dont le bout inférieur dessine sur une bande de papier les déviations imprimées à la bobine par les courants venant du câble.

Or, ces courants sont extrêmement faibles, et ont tout juste la force de déplacer l'ensemble mobile. Pour les grands câbles on est obligé d'amplifier les mouvements en reliant le siphon et l'écheveau par une série de petits leviers et de fils de soie. Mais alors, le frottement seul du siphon contre le papier suffit pour empêcher tout mouvement. Il fallait donc tenir le siphon à distance de la bande et lui faire cracher l'encre sur le papier, sous forme de petites gouttelettes. On y est arrivé par plusieurs procédés, notamment au moyen des *vibrateurs :* ce sont des appareils qui communiquent au siphon un mouvement vibratoire, perpendiculairement au papier ; à chaque vibration, le siphon laisse une goutte d'encre ; et la succession de ces gouttes donne un trait très régulier quand le vibrateur est bien réglé. La figure 1 représente un spécimen obtenu avec le câble de Saint-Pierre-Miquelon au cap Cod, à la Compagnie Française.

Mais il faut que le vibrateur soit bien réglé ; car, si sa période d'oscillation ne coïncide pas exactement avec celle du siphon en verre il se produit des interférences, des battements, et le siphon décrit dans l'espace les courbes les plus inattendues, jetant sur la bande de papier des inscriptions qui n'ont

plus que de vagues rapports avec les signaux de l'alphabet.

Pour les câbles courts, les courants qui arrivent au récepteur sont un peu plus forts; aussi peut-on coller directement le siphon sur l'écheveau de fil, et recueillir les signaux

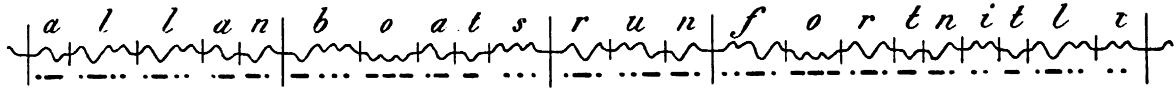


Fig. 1. — Siphon-recorder avec vibration mécanique.

par frottement du papier contre le siphon (fig. 2, câbles de Marseille en Algérie). Mais il faut ici faire défiler le papier avec une certaine vitesse, pour que le siphon ne soit pas arrêté par les aspérités de la bande. Ceci donnerait des signaux très allongés; par conséquent, pour qu'ils ne soient pas trop déformés, il faut laisser faire au siphon de grandes élongations. En définitive, l'obligation de faire de gros signaux se traduit ici par une perte de temps.

Le siphon-recorder présente encore quelques inconvénients, inhérents à la nature même de l'appareil; dans les pays chauds, le tube capillaire s'engorge facilement par l'évaporation de l'encre à son extrémité. Il faut alors le prendre et le sucer, pour forcer l'encre à se renouveler. Mais cette opération occasionne très souvent la rupture du siphon. De plus, les fils de soie ou de cocon, qui opèrent la traction des leviers, changent facilement de longueur par l'humidité, et se cassent assez fréquemment.

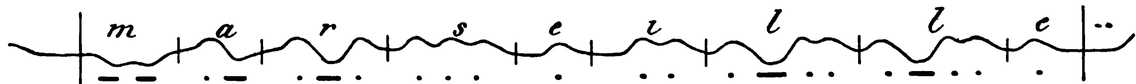


Fig. 2. — Siphon-recorder avec frottement sur le papier.

Mais le principal reproche que l'on pourrait faire de cet appareil si léger, c'est qu'il est encore trop massif par rapport aux forces qui doivent le mettre en jeu. Il est évident que moins un récepteur aura de masse et plus il pourra obéir vite aux courants qui traversent le câble. Ceux-ci mettent, en effet, un certain temps à se propager : l'onde électrique est retardée par les phénomènes de condensation qui se produisent au fur et à mesure qu'elle avance dans le câble, et son intensité croît d'autant plus lentement, à la réception, que la capacité du câble est plus grande. L'avantage restera donc à un récepteur dont l'inertie serait négligeable, car il pourra avoir inscrit un signal alors que d'autres appareils plus lourds n'auraient encore rien accusé. On pourra alors éteindre dans le câble toute la suite du courant, nécessaire pour ceux-ci, inutile pour celui-là, et gagner ainsi un temps considérable.

Or, pour les câbles atlantiques, la question de vitesse est primordiale. Il est facile de voir que pour une ligne comme celle de Brest-New-York par exemple, en pose actuellement, l'amortissement du câble se chiffrerait environ par 3 fr par minute. On pourra, selon les prévisions des ingénieurs, transmettre de 75 à 80 lettres par minute, soit 15 à 16 mots moyens. On voit de suite quelle importance prend ici la moindre augmentation dans la vitesse de transmission.

Or, un récepteur nouveau vient d'être présenté à l'Académie des Sciences, et il réalise un progrès considérable au double point de vue de la sensibilité et de la rapidité. Il est dû à M. Ader, il a été essayé sur le câble de Brest à Saint-Pierre-Miquelon en octobre 1896; et, il y a deux mois à peine, sur les câbles de Marseille à Alger. J'en donnerai prochainement la description complète [1], mais je dirai de suite qu'il a pro-

[1] Une description sommaire en a été donnée dans *L'Éclairage Électrique* du 27 juin, 1896, t. VII, p. 594.

curé, sur le câble atlantique, un gain de 60 p. 100, et sur les câbles de la Méditerranée un gain de 250 p. 100, par rapport aux appareils actuellement en usage. Il est donc probable qu'il donnera, sur la ligne Brest-New-York, un gain d'au moins 50 p. 100, c'est-à-dire qu'il permettrait le débit de 23 à 25 mots, au lieu de 15 ou 16. Ce sont là de fort beaux résultats, et on verra par quelle simplicité de moyens ils ont été obtenus.

(*A suivre.*)

F. Rossel,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

MESURE DE LA PUISSANCE ET DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUES

Courant continu et courant alternatif sur circuit sans réactance

La mesure de la puissance dépensée dans un circuit à courant continu se réduit à l'observation simultanée de la différence de potentiel aux bornes et de l'intensité. Comme nous l'avons vu à propos des wattmètres (*L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 166), il y a lieu de chercher si, selon le montage adopté, la valeur de E, ou celle de I, est faussée par la résistance relative de l'ampèremètre, du voltmètre ou du circuit.

Le résultat étant le produit des deux facteurs, EI, il faut faire chaque mesure, prise seule, avec plus de précision qu'on ne le ferait dans le cas d'une mesure isolée de E ou de I, puisque les erreurs s'ajoutent.

Pour la mesure de l'énergie, il faut, si la puissance est constante, noter la durée exacte de l'expérience ; sinon, on relève, à des intervalles convenables suivant la rapidité des variations, les valeurs simultanées de E, I et t, et on fait, graphiquement ou par des moyennes, l'intégration des résultats.

Dans les circuits alternatifs sans réactance, c'est-à-dire dans lesquels la différence de potentiel et l'intensité sont des fonctions identiques du temps et sont de même phase, le procédé de mesure de P est le même que pour les courants continus. Cette condition suppose que le circuit sur lequel on fait la mesure ne renferme ni self-induction, ni capacité, ni moteurs, qu'il ne traverse pas d'électrolytes ou d'arcs, toutes ces causes étant susceptibles d'amener soit une différence de phase entre E et I, soit de déformer la loi de l'intensité qui n'est plus alors semblable à la loi de E.

En pratique, cette méthode simple ne s'applique qu'aux circuits entièrement métalliques, composés de résistances ayant une self-induction négligeable, aux lampes à incandescence par exemple.

Toutefois, pour les courants alternatifs, une restriction s'impose ; il faut n'employer que des instruments, voltmètres et ampèremètres, donnant la valeur *efficace*. Quand les mesures sont faites avec un électromètre ou un Cardew, d'une part, et un électrodynamomètre, d'autre part, les résultats sont aussi exacts que pour les courants continus.

Méthode de M. Potier

La plus ancienne de toutes les méthodes applicables à tous les circuits, avec ou sans réactance, est celle due à M. Potier ; elle repose sur l'emploi des électromètres symétriques.

Une résistance sans induction, R (fig. 1), est placée en série avec le circuit dans lequel on veut mesurer l'énergie dépensée ; à chaque instant la chute de potentiel le long de cette résistance est :

$$e = RI.$$

Si on relie les points a et b aux quadrants

d'un électromètre et le point c à l'aiguille du même, le couple qui tend à faire dévier l'ai-

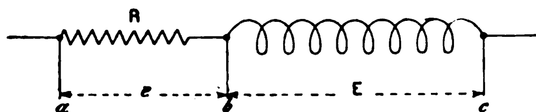


Fig. 1. — Méthode de M. Potier pour la mesure de l'énergie.

guille a pour valeur (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 593),

$$\frac{N(y^2 - x^2)}{1 + M(x - y)^2}.$$

Dans le cas actuel,

$$y = e + E = RI + E,$$
$$x = E,$$

donc la déviation d_1 doit être :

$$d_1 = \frac{N}{T}\int_0^T \frac{e^2 + 2eE}{1 + Me^2}\,dt.$$

Si, dans une seconde mesure, on relie encore les points a et b aux quadrants, le point b à l'aiguille, on obtient une seconde déviation :

$$d_2 = \frac{N}{T}\int_0^T \frac{e^2}{1 + Me^2}\,dt.$$

La différence de ces deux déviations donne :

$$d_1 - d_2 = \frac{N}{T}\int_0^T \frac{2Ee}{1 + Me^2}\,dt =$$

$$\frac{2NR}{T}\int_0^T \frac{EI}{1 + MR^2I^2}\,dt.$$

Cette différence d_1-d_2 n'est proportionnelle à la puissance mesurée :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T EIdt,$$

que si le couple directeur électrique, représenté ici par le dénominateur de la fraction, est négligeable. La mesure est alors exacte, quelles que soient les formes de E et I, et leur différence de phase ; on a :

$$P = \frac{d_1 - d_2}{2NR}. \qquad (1)$$

Dans la mesure elle-même, le couple directeur électrique n'est pas souvent important ; il est d'ailleurs facile de se rendre compte, *approximativement*, de sa grandeur, en calculant le facteur $1 + MR^2I^2$, en mettant pour I la valeur efficace du courant ; si ce terme ne diffère pas sensiblement de 1, on peut le négliger.

C'est surtout dans la détermination de N, qu'il est important de tenir compte du coefficient M. Cette détermination se fait généralement, par la méthode idiostatique, et nous avons vu (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 593), que N est alors donné par :

$$N = \frac{1 + ME^2}{E^2}\,d,$$

de telle sorte que l'erreur commise en négligeant M, augmente avec la valeur de E.

Il est facile de comprendre pourquoi M est négligeable dans un cas et pas dans l'autre ; cela tient à la différence de potentiel entre les quadrants, qui, relativement petite dans le premier cas, est considérable dans le second.

La valeur de R à employer dépend de la puissance à mesurer et de la sensibilité de l'électromètre employé ; on peut la calculer au moyen de l'équation (1), en donnant à $d_1 - d_2$, la valeur que l'on veut atteindre pour obtenir une erreur de lecture assez faible.

Si, à chaque lecture de l'électromètre, l'erreur commise est Δ, l'erreur relative sur la mesure finale sera :

$$\frac{2\Delta}{d_1 - d_2};$$

on a évidemment intérêt à faire $d_1 - d_2$ assez grand, mais comme l'augmentation de R donne plus d'importance au couple directeur électrique, il faut s'assurer que l'on ne perd pas de ce côté la précision gagnée de l'autre.

Avec l'électromètre de MM. Blondlot et Curie, une seule lecture est nécessaire. Les points a et b sont reliés aux deux parties de l'aiguille, les points b et c, aux deux qua-

drants fixes, et la déviation est alors proportionnelle à la puissance mesurée :

$$d = \frac{N_2 R}{T} \int_0^T EI dt = N_2 RP.$$

MÉTHODE DE MM. AYRTON ET SUMPNER

La méthode précédente a contre elle l'emploi de l'électromètre à miroir; dans la suivante, toutes les mesures peuvent être faites au moyen de voltmètres quelconques, pourvu que ceux-ci donnent les forces électromotrices efficaces.

Comme ci-dessus, une résistance R est mise en série avec le circuit à mesurer. Trois voltmètres, E, E_1, E_2 (fig. 2), donnent simultanément les différences de potentiel, totale, aux bornes de la résistance R et aux bornes du circuit ; on désigne souvent cette méthode sous le nom de : méthode des trois voltmètres.

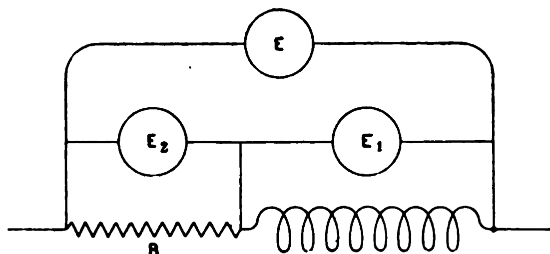


Fig. 2. — Méthode de MM. Ayrton et Sumpner.

En appelant e, e_1, e_2, i et p, les valeurs *instantanées* des différences de potentiel, de l'intensité et de la puissance, on a évidemment :

$$e = e_1 + e_2,$$

$$i = \frac{e_2}{R},$$

$$p = e_1 i = \frac{e_1 e_2}{R} = \frac{1}{2R}(e^2 - e_1^2 - e_2^2).$$

La puissance moyenne :

$$P = \frac{1}{2RT}\left(\int_0^T e^2 dt - \int_0^T e_1^2 dt - \int_0^T e^2 dt\right)$$

$$= \frac{1}{2R}(E^2 - E_1^2 - E_2^2),$$

puisque chacune des intégrales

$$\frac{1}{T}\int_0^T e^2 dt,$$

n'est autre chose que la différence de potentiel efficace indiquée par le voltmètre correspondant ; là encore, il n'y a pas lieu de tenir compte de la réactance du circuit.

Si on se place dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire si les trois voltmètres sont employés dans la partie de la graduation où l'erreur relative est minimum, il faut, pour obtenir la plus grande exactitude sur P, choisir la résistance telle que l'on ait $E_1 = E_2$. En effet, soit ε l'erreur relative commise sur chaque lecture, l'erreur absolue sur P, est :

$$dP = \frac{1}{2R}\varepsilon(E^2 + E_1^2 + E_2^2),$$

et l'erreur relative :

$$\frac{dP}{P} = \varepsilon \frac{E^2 + E_1^2 + E_2^2}{E^2 - E_1^2 - E_2^2},$$

est bien minimum pour $E_1 = E_2$.

Cette condition exige l'emploi d'une résistance d'autant plus grande que la différence de phase entre E_1 et i est plus grande :

$$R = \frac{P}{I^2 \cos\varphi}.$$

L'énergie dépensée dans la résistance R est au moins égale à P :

$$RI^2 = \frac{P}{\cos\varphi},$$

et, enfin, dans ces conditions, qui sont les plus favorables, l'erreur relative est encore

$$\frac{dP}{P} = \frac{2 + \cos\varphi}{\cos\varphi}\varepsilon.$$

Il faut donc, pour obtenir de bons résultats, faire usage de voltmètres très bien étalonnés. On peut, si le courant mesuré est très constant, employer un seul ou deux voltmètres, en faisant des lectures successives.

Les voltmètres employés ne doivent pas avoir une résistance trop faible, autrement

il faudrait en tenir compte. Dans le cas de l'emploi simultané de trois appareils, il faut diminuer P de la puissance dépensée dans le voltmètre E_1 et il faut tenir compte de la diminution de R causée par la mise en dérivation de E_2; il n'y a pas lieu de tenir compte de l'action de E quand le régime, dans le circuit à mesurer, a été établi toutes connexions faites.

Dans certains cas, il est difficile de prendre une force électromotrice double de celle qui est nécessaire pour l'appareil essayé, tandis qu'il est facile d'employer une intensité double; c'est dans ce sens que M. Fleming a modifié la méthode.

La résistance R est placée *en dérivation* sur le circuit et les 3 voltmètres sont remplacés

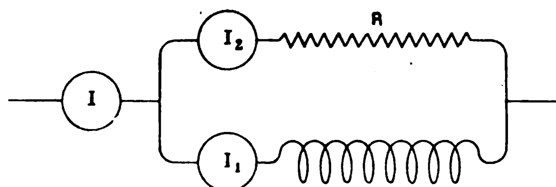


Fig. 3. — Modification de Fleming.

par 3 électrodynamomètres (fig. 3). On a, pour les mêmes raisons que précédemment,

$$p = ei_1 = Ri_1 i_2,$$
$$i = i_1 + i_2,$$

et, finalement :

$$P = \frac{R}{2}(I^2 - I_1^2 - I_2^2).$$

L'erreur relative est minimum pour $I_1 = I_2$.

Cette méthode présente les mêmes causes d'erreurs que celle de M. Ayrton; on doit choisir entre les deux selon la source de courant dont on dispose.

EMPLOI DU CALORIMÈTRE

Dans les circuits présentant une forte réactance il est très difficile d'obtenir, par les méthodes précédentes, des résultats très exacts. Quand on veut déterminer la perte de puissance dans un organe quelconque, un transformateur, par exemple, le résultat qui est donné par la *différence* de deux quantités déjà inexactes, est encore plus incertain. La méthode calorimétrique, employée pour ce cas particulier par M. Roiti est, bien que longue et assez peu précise, la seule capable de donner des résultats à peu près certains; ce n'est évidemment pas une méthode d'usage courant, mais il est bon de la connaître pour l'utiliser au besoin.

La disposition employée, qui n'est applicable qu'aux appareils n'effectuant aucun travail mécanique extérieur, comme les transformateurs à courant alternatif, consiste à enfermer l'appareil à étudier dans une boîte en laiton mince, enveloppée elle-même dans une seconde boîte en laiton. Un courant d'eau jaugé au moyen de réservoirs de capacité connue, circule entre les deux enveloppes de laiton et des thermomètres, très précis et sensibles au $\frac{1}{10}$ de degré, au moins, indiquent la température de l'eau à l'entrée et à la sortie. Des enveloppes calorifuges doivent être disposées autour du récipient de laiton pour éviter les pertes ou les échauffements par les causes extérieures. Les conducteurs reliant l'appareil aux circuits, sont disposés dans des tubes parfaitement isolés.

Lorsque le régime est bien établi, c'est-à-dire lorsque toutes les masses fixes de l'appareil et du calorimètre ont pris une température constante, toute l'énergie dépensée dans l'appareil doit se retrouver dans l'eau de circulation; cette condition n'est généralement réalisée qu'au bout de plusieurs heures, quand les températures indiquées par les deux thermomètres restent bien fixes.

Si t et t' sont les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie, Q le poids d'eau écoulé *par seconde*, exprimé en grammes, la puissance dépensée a pour valeur, en watts.

$$P = 4{,}17\,Q\,(t' - t).$$

L'écart des températures t et t' est assez petit; on règle d'ailleurs le débit de l'eau pour qu'il en soit ainsi, car si la température était

trop élevée, on éviterait difficilement les pertes par rayonnement; cette condition réduit beaucoup l'exactitude du facteur $t' - t$. On peut, pour des recherches délicates, faire cette mesure au moyen de couples thermo-électriques ou d'un dispositif bolométrique.

COURANTS POLYPHASÉS

La puissance dépensée dans un circuit de courants diphasés se mesure par les méthodes précédentes, il suffit de faire deux mesures, simultanées ou successives, selon que le régime varie ou est constant.

Dans les courants triphasés, la puissance dépensée à chaque instant a pour valeur, dans le montage en étoile (fig. 4 *a*),

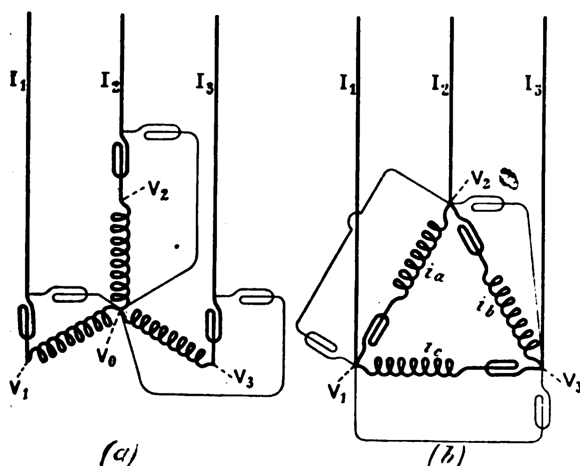


Fig. 4.

$$p = I_1(V_1 - V_0) + I_2(V_2 - V_0) + I_3(V_3 - V_0), \quad (1)$$

et, dans le montage en triangle (fig. 4 *b*),

$$p = i_a(V_1 - V_2) + i_b(V_2 - V_3) + i_c(V_3 - V_1). \quad (2)$$

La puissance moyenne dépensée, dans les deux cas,

$$P = \frac{1}{T}\left[\int_0^T I_1(V_1 - V_0)\,dt + \int_0^T I_2(V_2 - V_0)\,dt + \int_0^T I_3(V_3 - V_0)\,dt\right], \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{T}\left[\int_0^T i_a(V_1 - V_2)\,dt + \int_0^T i_b(V_2 - V_3)\,dt + \int_0^T i_c(V_3 - V_1)\,dt\right], \quad (4)$$

n'est autre chose que la somme des puissances moyennes dépensées dans chacune des branches; il en résulte que, si le point neutre V_0 est accessible, ou si les intensités i_a, i_b, i_c, peuvent être mesurées directement, le problème se réduit à trois mesures de puissances, qui peuvent être effectuées par une méthode quelconque. Cette disposition est très simple, mais elle a l'inconvénient d'exiger l'emploi de trois appareils, ou séries d'appareils, identiques, à moins que la puissance soit rigoureusement constante, ce qui permet de faire les mesures successivement.

Quand on fait usage de wattmètres, les connexions doivent être effectuées comme l'indique la figure 4; les 3 wattmètres peuvent au besoin être réunis en un seul, en superposant les bobines à gros fil et en montant les bobines de dérivation sur un axe unique, de façon que leurs actions s'ajoutent; c'est la disposition la plus favorable pour les compteurs.

La méthode peut être simplifiée et le nombre des wattmètres réduit à deux.

Remarquons que, dans les courants polyphasés, on doit avoir :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0,$$

ceci nous permet d'éliminer V_0 et I_3, l'équation (1) devient alors :

$$p = I_1(V_1 - V_3) + I_2(V_2 - V_3), \quad (5$$

et

$$P = \frac{1}{T}\left[\int_0^T I_1(V_1 - V_3)\,dt + \int_0^T I_2(V_2 - V_3)\,dt\right). \quad (6)$$

On a de même, pour le montage en triangle :

$$i_a + i_b + i_c = 0,$$
$$i_a - i_c = I_1,$$
$$i_b - i_a = I_2,$$

les équations (2) et (4) deviennent alors identiques à (5) et (6); le montage des wattmètres est le même dans les deux cas (fig. 5 *a* et *b*). Cette solution est à la fois plus simple et plus générale, car elle réduit le nombre d'appa-

reils nécessaires et, en même temps, elle permet de les monter sur des parties toujours accessibles des circuits; dans le montage en

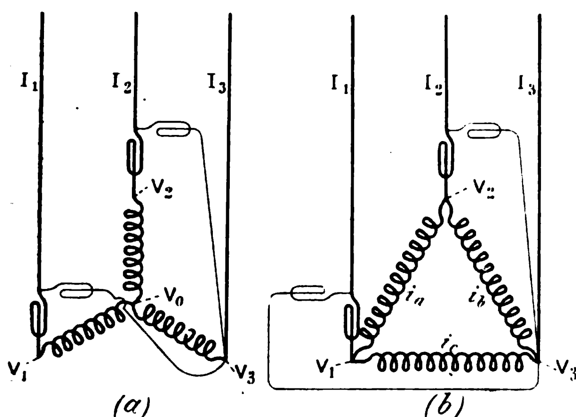


Fig. 5.

étoile, on dispose rarement du point neutre, et, dans le montage en triangle, il n'est pas toujours facile de mesurer le courant dans les côtés du triangle.

Dans l'équation (6), la puissance P est la somme *algébrique* des indications des deux wattmètres; dès que la réactance des circuits atteint une valeur capable de donner une différence de phase φ supérieure à 60°, il faut prendre la différence des indications au lieu de la somme; pour $\varphi = 60°$, l'un des deux wattmètres indique une puissance nulle.

Comme la valeur de φ n'est jamais connue, il faut installer les instruments de façon que le sens de leur déviation indique lui-même, si la valeur est positive ou négative. Le moyen le plus simple pour obtenir ce résultat consiste à essayer successivement les deux wattmètres sur le même circuit, sur I, par exemple; les connexions étant établies comme le montre la figure 5, on note le sens de la déviation de l'index du premier wattmètre, puis on essaye le second et on relie le fil fin au gros fil de façon à obtenir le même sens de déviation. Dans ces conditions, les deux instruments peuvent être placés indifféremment sur l'un ou l'autre des circuits, il suffit que le point commun des deux bobines, fixe et mobile, reste invariable; tant que les déviations restent de même sens, il faut additionner les valeurs obtenues, il faut soustraire quand elles sont opposées.

Cette disposition peut évidemment être appliquée en réunissant les deux wattmètres dans un seul appareil, comme précédemment; c'est ce que l'on fait pour les compteurs pour courants triphasés; dans ce cas, le système fait lui-même la somme algébrique des puissances mesurées.

H. Armagnat.

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE (1)

XIII. Les formules (78) sont assez difficiles à simplifier. Nous nous bornerons donc à faire deux applications numériques. Mais pour cela il est nécessaire de mettre les dérivées de g et h sous une forme légèrement plus favorable au calcul.

Définissons deux nouvelles séries M_1 et N_1

$$\left.\begin{aligned} M_1 &= 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+1}\,\alpha^{2n+1}}{(2n+1)!^2}, \\ N_1 &= 2\sum_0^\infty \frac{(-1)^n S_{2n+2}\,\alpha^{2n+2}}{(2n+2)!^2}. \end{aligned}\right\} \quad (82)$$

Nous avons dès lors

$$\left.\begin{aligned} dM &= -N_1 + 2\frac{A}{\alpha}, \\ dN &= M_1 + 2\frac{B}{\alpha}, \end{aligned}\right\}$$

et par conséquent

$$\left.\begin{aligned} dP &= dM - d^2B = dM - \frac{A}{\alpha} = -N_1 + \frac{A}{\alpha}, \\ dQ &= dN + d^2A = dN - \frac{B}{\alpha} = M_1 + \frac{B}{\alpha}. \end{aligned}\right\}$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 25 juin, des 10 et 17 juillet 1897, p. 5, 97 et 149.

Substituant ces valeurs dans l'expression de $\frac{dg}{d\alpha}$ et $\frac{dh}{d\alpha}$, on arrive aux formules

$$dg = dA \log\frac{\alpha}{\beta} + N_1 + P'\frac{A'dA + B'dB}{A'^2 + B'^2} + Q'\frac{B'dA - A'dB}{A'^2 + B'^2},$$

$$dh = dB \log\frac{\alpha}{\beta} - M_1 - P'\frac{B'dA - A'dB}{A'^2 + B'^2} + Q'\frac{A'dA + B'dB}{A'^2 + B'^2}.$$

Nous laisserons de côté la self-inductance, et mettons pour les calculs la résistance effective sous la forme

$$R_1 = R(\alpha - \beta)\frac{gdg + hdh}{g^2 + h^2}. \qquad (78')$$

Nous allons donner ci-dessous les valeurs des séries qui interviennent dans les calculs, pour les valeurs entières de α de 0 à 20.

α	A	B	dB	$1 - d$A	P	Q	M_1	N_1
0	0	0	0	0	0	1,0000	0	0
1	0,9170	0,4930	0,9723	0,2483	0,7237	2,2227	1,8986	0,7424
2	1,3444	1,8896	1,7800	0,9723	− 0,1738	5,5683	3,1954	2,8848
3	0,8338	3,9459	2,2677	2,1108	− 4,1355	10,8660	3,3274	6,1708
4	− 0,9823	6,2693	2,2927	3,5633	− 12,2279	14,2601	1,8068	10,1866
5	− 4,3529	8,3382	1,7417	5,1947	− 25,0915	16,0949	− 1,7544	14,3750
6	− 9,3767	9,5317	0,5290	6,8390	− 42,5966	13,2622	− 7,5908	18,1428
7	− 15,8717	9,1600	− 1,3926	8,3051	− 63,9240	3,2413	− 15,7718	20,4746
8	− 23,6088	6,7070	− 3,9343	9,4361	− 86,6581	− 15,7189	− 25,8546	21,0046
9	− 32,5382	0,8757	− 7,3347	9,8579	− 110,4693	− 48,2173	− 38,4834	18,1674
10	− 41,2964	− 8,3545	− 11,2191	9,5067	− 129,6641	− 93,8395	− 52,1258	11,7682
11	− 49,2071	− 21,7047	− 15,5376	8,1192	− 140,7327	− 154,4082	− 66,3682	0,8802
12	− 55,1268	− 39,5094	− 20,0919	5,5502	− 137,9033	− 230,4354	− 80,0862	− 15,1862
13	− 57,7414	− 61,8852	− 24,6344	1,4844	− 117,5750	− 320,5940	− 92,3818	− 36,8508
14	− 55,5964	− 88,6798	− 28,8708	− 4,0565	− 71,6340	− 423,7183	− 101,5780	− 64,5336
15	− 47,0940	− 119,4074	− 32,4553	− 11,2013	+ 5,6727	− 535,1779	− 106,1868	− 98,1114
16	− 30,6414	− 153,2456	− 35,0167	− 19,9740	120,3233	− 649,9224	− 104,9652	− 137,3724
17	− 4,6174	− 188,6936	− 36,1456	− 30,3304	278,4022	− 760,7636	− 94,9228	− 181,7046
18	+ 32,5090	− 224,9170	− 35,4151	− 42,1525	484,7859	− 858,6725	− 75,4614	− 230,1748
19	82,1105	− 259,0281	− 32,3876	− 55,2404	743,4362	− 942,3366	− 44,4106	− 283,0152
20	145,3174	− 288,7816	− 26,6288	− 69,3080	1056,7062	− 970,2201	− 0,0759	− 333,6196

Le calcul de ces séries est assez pénible ; le dernier chiffre décimal doit être en général exact à 3 ou 4 unités près, sauf le cas nullement impossible d'erreurs qui nous auraient échappé.

XIV. Appliquons les résultats précédents à un conducteur en cuivre de 1 200 mm² de section, parcouru par un courant de fréquence 50.

Pour le conducteur plein, nous aurions

$$x = \frac{1}{80}\sqrt{60\,000} = 3,06,$$

et par conséquent

$$y = 1,345.$$

La perte d'énergie en ligne serait donc de plus d'un tiers supérieure à celle du courant continu.

Supposons maintenant que nous employions un conducteur creux de même section et d'un diamètre intérieur de 1 cm.

Nous avons

$$\pi(a^2 - b^2) = 1\,200,$$

$$b = 5.$$

d'où

$$\pi b^2 = 78{,}5,$$
$$\pi a^2 = 1\,278{,}5,$$
$$\alpha = 2{,}5,$$
$$\beta = 0{,}15,$$

En faisant le calcul direct des séries on trouve

$$\begin{array}{ll} A = 1{,}2316, & A' = 0{,}1497, \\ B = 2{,}8566, & B' = 0{,}0112, \\ P = -1{,}6932, & P' = 0{,}1491, \\ Q = 7{,}7655, & Q' = 1{,}0281, \\ dA = -0{,}4949, & M_1 = 3{,}4396, \\ dB = 2{,}0728, & N_1 = 4{,}4072, \end{array}$$

D'où l'on déduit

$$dg = -1{,}39235 + 4{,}4072 - 0{,}33547 - 14{,}4087 = -11{,}6965$$
$$dh = 5{,}8316 - 3{,}4396 + 2{,}0874 - 2{,}3207 = 2{,}1587$$
$$g = 3{,}4650 + 1{,}6932 + 1{,}4314 - 18{,}8795 = -12{,}3100$$
$$h = 8{,}0367 - 7{,}7655 + 2{,}7360 + 9{,}8704 = 12{,}8776$$

et par conséquent

$$\frac{R_1}{R} = 1{,}27.$$

En admettant sur toutes ces séries des erreurs absolues inférieures à 0,0001 on trouve que l'erreur absolue sur le résultat ne doit pas atteindre 0,02

La première des équations (81) donnerait

$$\frac{R'_1}{R} = 1{,}36.$$

Le conducteur n'est donc pas suffisamment creux pour que l'amélioration soit considérable.

Portons le rayon intérieur à 20,17 mm et la section du conducteur à 1 278,5, ce qui nous donnera

$$\beta = 2{,}5,$$
$$\alpha = 5.$$

Les séries auront alors les valeurs

$$\begin{array}{ll} A = -4{,}3529, & A' = 1{,}2316, \\ B = 8{,}3382, & B' = 2{,}8566, \\ P = -25{,}0915, & P' = -1{,}6932, \\ Q = 16{,}0949, & Q' = 7{,}7655, \\ dA = -4{,}1947, & M_1 = -1{,}7544, \\ dB = 1{,}7417, & N_1 = 14{,}3750. \end{array}$$

nous trouvons

$$dg = -2{,}9076 + 14{,}3750 + 0{,}0334 - 11{,}3403 = 0{,}1605$$
$$dh = 1{,}2073 + 1{,}7544 - 2{,}4719 - 0{,}1532 = 0{,}3366$$
$$g = 3{,}0172 + 25{,}0915 - 3{,}2297 - 18{,}2243 = 0{,}6203$$
$$h = 5{,}7795 - 16{,}0949 - 3{,}9726 + 14{,}8160 = 0{,}5280$$

et par conséquent

$$\frac{R_1}{R} = 1{,}07.$$

Nous trouverions

$$\frac{R'_1}{R} = 1{,}346.$$

Si nous admettons des erreurs absolues maxima de 0,0004 sur P et Q, de 0,0001 sur A, B, P′, Q′, M_1, N_1 et de 0,00005 sur A′, B′, dA et dB, l'erreur relative maxima possible sur le résultat serait de 0,033, de telle sorte que $\frac{R_1}{R}$ serait certainement compris entre 1,03 et 1,10.

Nous en tirons deux conclusions importantes. La première est que l'augmentation de résistance est suffisamment atténuée, sans que l'on ait besoin d'agrandir encore le creux La seconde est que les formules (81) n'ont pas de valeur et doivent être abandonnées.

Le résultat que donne cette première équation (81) paraît paradoxal ; on peut se rendre compte approximativement de la manière suivante qu'il n'en est rien. En effet pour la valeur 5 de α, nous aurions $x = 4{,}5$ et $y = 1{,}86$ au lieu de 1,345. En prenant seulement le conducteur annulaire de section moitié, cette augmentation de résistance de 1,86 tombe à 1,346, ce qui est une amélioration notable, mais il n'y a aucune raison pour qu'elle descende à un nombre inférieur à celui correspondant au conducteur plein de même section.

Dans la pratique, on n'arrivera pas généralement à avoir des valeurs entières de α et β. Il serait très dangereux de calculer les valeurs des séries par interpolation entre les valeurs correspondant aux nombres entiers immédiatement inférieurs et supérieurs à α et β. En raison des réductions qui se font dans le

calcul de dg, dh, g, et h on arriverait certainement à des résultats complètement erronés.

Il sera préférable de procéder de la manière suivante. La donnée est généralement la section du conducteur, ou sa résistance statique d'où l'on déduit $\alpha - \beta$. D'autre part, on a toujours une certaine latitude pour le diamètre du conducteur creux, on s'arrangera pour prendre β entier : α sera alors compris entre deux nombres entiers α_0 et $\alpha_0 + 1$. On calculera la valeur de $\frac{R_1}{R}$ pour les deux groupes β, α_0 et $\beta, \alpha_0 + 1$, et $\frac{R_1}{R}$ étant la fonction même dont on cherche la valeur, on aura une approximation suffisante en interpolant entre ces deux valeurs.

XV. Nous allons encore examiner rapidement l'application de nos formules à la téléphonie.

Le cas du fer est relativement peu intéressant. Si en effet le fer est environ à poids égal 6 fois moins cher environ que le cuivre, il est également 6 fois plus résistant, de sorte qu'à résistance kilométrique égale, le prix est sensiblement le même. Il est vrai que la self-inductance plus élevée de la ligne en fer permet de diminuer sensiblement la résistance pour se trouver dans les mêmes conditions de réception. Mais d'autre part, là où on emploie un fil de cuivre plein, on serait en téléphonie obligé de construire un câble avec une assez grosse âme en chanvre entouré d'une armure de petits fils. Un tel câble coûterait notablement plus que le fil plein, serait plus difficile à poser et chargerait davantage les appuis, de sorte qu'en dernière analyse on n'aurait vraisemblablement aucun avantage à substituer le fer au cuivre dans les lignes téléphoniques de plus de 300 km de longueur.

Supposons que l'on adopte définitivement le cuivre et que, soit pour établir une ligne aérienne très longue, soit pour construire un câble téléphonique sous-marin, on soit amené à prendre un fil de 1 cm de diamètre.

Nous avons vu plus haut qu'on aurait dans ce cas :

$$y = 1{,}845,$$

pour des sons de fréquence 1600.

La voix serait donc complètement déformée et il y a lieu d'employer un conducteur creux pour éviter tout mécompte. Or on a :

$$\alpha = 9{,}05,$$

pour le conducteur plein, en considérant des courants de fréquence 3 000. Nous pouvons donc admettre :

$$\alpha - \beta = 9,$$

et prendrons immédiatement :

$$\beta = 11,$$
$$\alpha = 20.$$

Mais si on fait le calcul avec les valeurs que nous avons données pour les séries, on s'aperçoit que dg. dh, g et h, bien que comprenant des termes de plusieurs centaines, se réduisent finalement chacun à des valeurs bien inférieures à l'unité et que dans ces conditions l'erreur possible sur le résultat est presque du même ordre que ce résultat lui-même.

Nous devons donc calculer les séries avec une approximation plus grande ; dans les valeurs ci-dessous, le sixième chiffre décimal est supposé exact :

$$\begin{array}{ll} A = 145{,}3174830, & A' = -49{,}2071330, \\ B = -288{,}7816015, & B' = -21{,}7047486, \\ P = 1056{,}7062065, & P' = -140{,}7327122 \\ Q = -970{,}2201482, & Q' = -154{,}4082384, \\ dA = 70{,}3080336, & M_1 = -0{,}0759268, \\ dB = -26{,}6288091, & N_1 = -333{,}6196302. \end{array}$$

Nous avons dès lors :

$$\begin{aligned} dg &= 0{,}03596 \pm 0{,}0002, \\ dh &= -0{,}01212 \pm 0{,}0002, \\ g &= 0{,}07159 \pm 0{,}0003, \\ h &= -0{,}15852 \pm 0{,}0003, \end{aligned}$$

et par conséquent :

$$\frac{R_1}{R} = 1{,}337 \pm 0{,}024.$$

Du moment que la résistance effective est inférieure à 1,36 fois la résistance statique pour des sons de fréquence 3 000, nous sommes à peu près certains de nous trouver dans de bonnes conditions.

Il est intéressant de chercher jusqu'à quelle distance on peut employer le conducteur plein pour une ligne aérienne.

Si on admet que y ne doit pas dépasser la valeur 1,3 pour un courant de fréquence 3 000, et que la résistance de la ligne doit être d'environ 3 000 ω pour avoir une réception pure, et si on désigne par l la longueur de ligne double et par s la section du conducteur, on aura :

$$\frac{16}{S} \times 2l = 3000,$$

et :

$$x = \frac{1}{80}\sqrt{3000\,S} < 2,9.$$

D'où :

$$l < 1700\,\text{km}.$$

Il ne serait donc pas possible d'avoir une conversation téléphonique très bonne sur une ligne en fil plein de plus de 1 700 kilomètres de longueur. Il est à remarquer d'ailleurs que cette règle n'est pas absolue. Le résultat a atteindre est que l'expression :

$$\frac{L_1}{R_1^2},$$

reste supérieure à une certaine valeur. On peut arriver à ce résultat en augmentant la section du cuivre et créer ainsi une résistance très variable avec la fréquence, sans rendre inintelligible la conversation, à cause de l'habileté de l'oreille humaine à deviner ce qu'elle ne saisit qu'imparfaitement.

XVI. En résumé l'emploi du conducteur creux a été presque totalement évité jusqu'ici :

1° Dans l'industrie grâce à l'emploi des transformateurs ;

2° Dans la téléphonie parce qu'on a renoncé à l'emploi du fer, qu'on n'a pas fait encore de lignes aériennes de très grande longueur et qu'on n'a pas encore tenté de réaliser un câble téléphonique de moyenne longueur.

Si l'on venait pour un motif quelconque à avoir besoin d'employer le conducteur creux les formules (78) donnent la solution complète du problème.

Toutefois il faut remarquer que le calcul est rendu pénible parce que, malgré les grandes valeurs que prennent les séries, il se fait des réductions très considérables qui rendent les erreurs possibles grandes. Il serait à désirer que l'on pût donner aux formules (78) une forme plus accessible aux calculs de la pratique.

E. Brylinski,
Ingénieur des Télégraphes.

RECHERCHES RÉCENTES SUR L'OZONE

Depuis la communication faite par le Dr Frölich [1], à la première réunion de la Société électrochimique allemande, en 1894, jusqu'à la fin de 1896, aucun travail d'ensemble sur l'ozone n'a été publié. M. Andréoli [2], dans un mémoire présenté le 1er février dernier à la Société de chimie industrielle de Londres, et M. Marius Otto [1], dans un travail présenté récemment comme thèse de doctorat, et communiqué en partie à l'une des dernières séances de la Société des ingénieurs civils de Paris, viennent de montrer que les recherches sur ce corps n'en continuaient pas moins. Comme l'indique son titre, la communication de M. Andréoli a

(1) O. Frœlich. Sur les applications de l'ozone dans l'industrie, *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 500, 24 novembre 1894. — Le prix de revient de l'ozone, *Idem*, t. II, p. 220.

(2) E. Andréoli. La production et les applications industrielles de l'ozone.

(1) M. Otto. Recherches sur l'ozone. Thèse soutenue le 10 avril 1897, à la Faculté des sciences de Paris, *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs,

surtout pour but de faire ressortir les nombreuses applications que reçoit ou que pourrait recevoir l'ozone dans l'industrie ; le travail de M. Otto est plutôt d'ordre scientifique, bien que son auteur, industriel éclairé, ait, depuis plusieurs années déjà, appliqué l'ozone à la fabrication de parfums artificiels. Ces deux travaux ont une partie commune :

LA PRÉPARATION INDUSTRIELLE DE L'OZONE,

par laquelle nous commencerons l'analyse de ces deux mémoires, le développement des applications de l'ozone étant intimement lié à la possibilité d'obtenir l'ozone à bas prix.

Tout d'abord, rappelons que, d'après les recherches thermochimiques de Favre, Thomsen et Berthelot, la transformation d'une molécule d'ozone (24 gr) en oxygène est accompagnée d'un dégagement de chaleur de 14,6 grandes calories. Par conséquent, la formation d'un gramme d'ozone exige une dépense de travail d'environ

$$\frac{14,6 \times 425}{24} = 258 \text{ kilogrammètres,}$$

de sorte qu'avec 1 cheval-heure, soit 270 000 kilogrammètres, on pourra, théoriquement, produire

$$\frac{270000}{258} = 1030 \text{ grammes}$$

d'ozone. Il en résulte que si l'énergie nécessaire à la formation de l'ozone est fournie sous forme d'électricité, la production du kilogramme d'ozone reviendra sensiblement au même prix que le cheval-heure électrique, soit en moyenne à 10 centimes.

A ce prix, l'ozone pourrait recevoir de nombreuses applications. Mais, toute l'énergie électrique fournie à un ozoniseur n'est pas employée à la condensation de l'oxygène en ozone ; il faut tenir compte du rendement de l'appareil, et, malheureusement, il est déplorable : dans les appareils employés industriellement, du moins jusqu'à ces derniers temps, il ne dépasse guère 2 p. 100, ce qui porte le prix de la formation de 1 kg d'ozone à 5 fr environ, sans tenir compte des frais d'entretien et d'amortissement des ozoniseurs.

La principale cause de ce faible rendement est l'élévation de température développée par le passage de l'électricité (sous quelque forme qu'on l'emploie : étincelle, pluie de feu, effluve) dans le gaz à ozoniser et aussi dans les appareils, élévation de température qui provoque la décomposition de la plus grande partie de l'ozone à mesure que celui-ci est produit. D'autres causes moins importantes existent également : oxydation des parties métalliques de l'appareil avec lesquelles l'ozone peut se trouver en contact ; humidité du gaz à ozoniser ; formation de composés nitreux dans le cas où l'on emploie l'air, ce qui est presque indispensable si l'on veut un bas prix de revient.

Chacune de ces causes paraît facile à éviter et, en fait, il est possible de le faire dans les appareils de laboratoire ; mais lorsqu'il s'agit d'appareils industriels d'une puissance d'un cheval dans lesquels on doit faire circuler plusieurs mètres cubes d'air par heure les difficultés deviennent presque insurmontables.

Examinons comment M. Andréoli, d'une part, et M. Otto, d'autre part, sont parvenus à les tourner en partie.

L'ozoniseur préconisé par M. Andréoli se compose d'une série de boites étanches en tôle, de forme aplatie, munies sur chacune de leurs faces latérales de pointes métalliques : ce sont les éléments de l'ozoniseur. Les éléments pairs et impairs sont respectivement unis entre eux par deux tuyaux qui jouent le double rôle de conducteurs électriques et d'adducteurs d'eau servant au refroidissement. Des lames de verre d'environ 2 mm d'épaisseur et de dimensions un peu supérieures à celles des éléments sont glissées entre chacun d'eux. Le tout est enfermé dans une caisse étanche sur les parois de laquelle sont ménagées deux ouvertures disposées de telle sorte que l'air à ozoniser, pénétrant dans l'appareil,

traverse, avant de sortir, l'intervalle compris entre les éléments. Dans les premiers appareils, les électrodes étaient de forme carrée (généralement de 30 cm de côté); depuis octobre dernier, M. Andréoli leur donne la forme d'un rectangle très allongé pouvant avoir jusqu'à un mètre de longueur, mais n'ayant que 15 cm de hauteur.

Les éléments pairs et impairs sont respectivement reliés aux bornes d'un transformateur à 10 000 volts. Les pointes s'illuminent vivement et des décharges très nourries viennent s'épanouir sur les parois des lames de verre qui les séparent.

Comme on le voit, cet ozoniseur présente par rapport aux appareils antérieurs une particularité importante : l'air à ozoniser et l'ozone produit sont directement en contact avec les électrodes métalliques. M. Andréoli voit dans cette disposition l'avantage de permettre un refroidissement plus efficace que si les électrodes étaient séparées du gaz par un diélectrique, tel que le verre, qui est mauvais conducteur de la chaleur. Il est vrai qu'il fait intervenir ainsi une autre cause de diminution du rendement : l'oxydation des électrodes par l'ozone, mais il estime que la perte résultant de cette cause est négligeable vis-à-vis du gain réalisé par l'activité du refroidissement. D'ailleurs il est parvenu à éviter cette oxydation en enduisant les électrodes d'un vernis spécial, qui tient parfaitement, comme le montre un essai de sept mois sur un ozoniseur fonctionnant plusieurs heures par jour, quelquefois même sans circulation d'eau dans le but de voir l'effet d'un échauffement anormal de l'ozoniseur sur le vernis.

Une autre particularité, à laquelle M. Andréoli attache une importance non moins grande, est la disposition des éléments dans la cuve étanche qui les renferme : les intervalles séparant deux éléments sont tous en libre communication avec les tuyaux d'amenée et de sortie de l'air, de sorte que celui-ci en traversant l'appareil ne se trouve en contact avec les électrodes que suivant la hauteur de celles-ci ; cette disposition contraire à l'usage courant qui consiste à disposer les éléments de manière à forcer l'air à circuler en zigzag d'un élément au suivant afin d'augmenter la longueur du trajet et par suite la surface de contact avec les électrodes, est rationnelle si l'on admet avec M. Andréoli que l'ozonisation atteint sa limite dès l'arrivée de l'air dans le champ des électrodes et que toute augmentation dans le trajet de l'air, au delà d'une certaine longueur, a tout simplement pour effet de soumettre l'ozone déjà formé à l'action de l'effluve qui, par le dégagement de chaleur qui l'accompagne, provoque la décomposition partielle de cet ozone. C'est cette idée qui l'a conduit à faire la substitution, dont nous parlions plus haut, d'éléments rectangulaires de faible hauteur aux éléments carrés qu'il employait autrefois. Quoi qu'il en soit du degré d'exactitude de cette idée, les essais ont montré que cette substitution augmentait le rendement. M. Andréoli y voit en outre un autre avantage : celui de rendre presque nulle la formation de composés oxygénés de l'azote.

Ajoutons enfin que le présence des pointes métalliques aurait pour effet, en facilitant la décharge, d'augmenter le rendement.

Quel est ce rendement ? Nous trouvons à ce sujet, dans la thèse de M. Otto, les renseignements suivants, résultats moyens d'une série d'essais faits avec M. Andréoli lui-même, sur un de ses ozoniseurs à 12 éléments de 30 × 30 cm, actionné par un transformateur Swinburne pouvant fournir jusqu'à 12 000 volts.

Puissance totale absorbée par le transformateur	717,75 wat,s.
Puissance utilisée par l'ozoniseur	574 »
Température initiale de l'eau contenue dans les éléments	+ 3° C.
Température finale de cette eau	+ 31° C.
Volume	25 litres.
Calories absorbées par l'eau seule, par suite de l'échauffement de l'appareil	700 cal.
Durée de l'expérience	1 h 49 m.
Quantité d'énergie utilisée uniquement pour chauffer l'eau (p. 100)	78,14
Production totale d'ozone	33,450 gr
Production d'ozone par cheval-heure	18,910 »

Le rendement est donc égal et même légèrement inférieur au rendement qu'a trouvé Frolich pour des ozoniseurs Siemens et Halske. Toutefois, il convient de remarquer que dans le tableau précédent la production est rapportée au cheval-heure fourni aux bornes du *primaire* du transformateur; il nous paraît plus rationnel dans la mesure du rendement d'un ozoniseur de rapporter la production en ozone à l'énergie fournie à l'appareil lui-même, c'est-à-dire aux bornes du *secondaire* du transformateur qui l'alimente, comme l'a fait d'ailleurs M. Otto, dans les données relatives à ses propres appareils; on trouverait ainsi 23 gr 6 d'ozone par cheval-heure. Il convient également de faire observer que dans les essais précédents la température finale de l'eau est assez élevée et qu'il serait facile, par une circulation active, de l'abaisser : d'où une nouvelle augmentation du rendement.

Quoi qu'il en soit, le nombre trouvé dans ces essais est confirmé par M. Andréoli dans sa communication : « Les appareils à plaque d'un pied carré dont je me servais avant 1896 donnaient, dit-il, 18 gr d'ozone au maximum par cheval-heure. » Ces appareils ne pouvaient donc présenter qu'un seul avantage sur ceux de Siemens et Halske : celui d'être d'une construction plus robuste.

Le dernier perfectionnement apporté par M. Andréoli à ses azoniseurs, l'emploi d'électrodes de faible hauteur, a, comme nous le disions précédemment, un effet très marqué sur le rendement qui atteint 34, 35, 44 et même 48 gr d'ozone par cheval-heure, d'après les analyses faites par le professeur W. Ramsay et le docteur T. Thorne. Il est vrai que les derniers résultats ont été obtenus dans des conditions exceptionnelles; aussi M. Andréoli ne compte-t-il, pour éviter des surprises fâcheuses, que sur un rendement de 30 grammes en marche industrielle. C'est néanmoins un résultat très satisfaisant, eu égard au faible rendement des ozoniseurs antérieurs.

L'ozoniseur de M. Otto donne, d'après les essais consignés dans la thèse de celui-ci, des résultats encore plus satisfaisants. Il se compose d'une série d'éléments que l'on peut disposer de deux façons : ou bien la disposition est telle, que l'air, arrivant par une ouverture percée à l'extrémité du premier élément, suit l'intervalle compris entre les éléments 1 et 2, puis, traversant ce dernier élément par une ouverture percée à l'extrémité opposée, se répand dans l'intervalle situé entre les éléments 2 et 3, et ainsi de suite; ou bien l'air, amené par une ouverture centrale du premier élément, se répand dans l'intervalle compris entre celui-ci et le second, contourne ce dernier, passe entre lui et le troisième élément, traverse celui-ci par une ouverture centrale, et ainsi de suite. Le premier dispositif est dit à distribution latérale, le second à distribution centrale; dans l'un et dans l'autre, le contact du gaz et des éléments s'effectue sur une large surface.

Chaque élément est composé d'une lame métallique recouverte d'une feuille de verre, soit sur une seulement de ses faces, soit sur ses deux faces; dans le premier cas, les armatures de deux éléments consécutifs se trouvent dès lors séparés par une seule lame diélectrique, et, par suite, l'air se trouve en contact avec une armature métallique; dans le second, ces armatures sont séparées par deux lames de verre entre lesquelles passe l'air. M. Otto a reconnu, par des expériences préliminaires, que le premier dispositif exige, pour une même distance entre les éléments, une différence de potentiel moins grande que le second pour obtenir l'apparition de l'effluve, ce qui était à peu près évident *a priori*, la distance entre les armatures métalliques étant dans le premier cas augmentée de l'épaisseur de la seconde lame diélectrique; il ne dit pas quel est celui qui fournit le meilleur rendement total.

Les éléments, séparés les uns des autres par des cales et des cadres isolants qui, en même temps, constituent les parois des canaux où circule l'air, sont pressés entre deux lames de verre. Les éléments pairs sont

reliés à l'une des bornes, les éléments impairs à l'autre borne d'un transformateur. Dans les expériences de M. Otto ce transformateur possédait quatre paires de bobines pouvant être connectées de manière à faire varier la différence de potentiel de 3 500 à 7 500 volts. Le circuit primaire était alimenté par un alternateur de 3 000 watts, construit par M. Labour.

Guidé par des considérations théoriques que nous ne reproduirons pas et dont la publication dans la thèse ne subsiste que par suite d'une erreur de l'imprimeur, M. Otto a cherché quelle était l'influence de la fréquence du courant sur le rendement. Il a opéré avec un ozoniseur à distribution latérale dont voici les caractéristiques :

Nombre d'éléments.	7
Épaisseur diélectrique.	0,19 cm
Surface des électrodes.	1483 cm^2

Au moyen de résistances appropriées la différence de potentiel aux bornes de l'ozoniseur était maintenue constamment à 6 000 volts; l'intensité du courant, qui ne variait pas d'une manière appréciable, était de 1,4 milliampère ; la puissance absorbée par l'appareil était donc de 8,4 watts; le nombre des périodes a varié de 46 à 83,5 par seconde; le gaz soumis à l'effluve était de l'air pur et sec. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau I; ils montrent que dans les limites des expériences le poids d'ozone produit croît à peu près proportionnellement à la fréquence.

M. Otto a fait une autre série d'expériences pour reconnaître l'influence du débit du gaz à ozoniser. L'appareil était le même que dans les expériences précédentes; le nombre des périodes était de 80 par seconde; la différence de potentiel aux bornes était de 6 500 volts; l'intensité du courant de 1,46 milliampère; la puissance absorbée de 9,5 watts. Le tableau II contient les données et les résultats des divers essais.

TABLEAU I. — INFLUENCE DE LA FRÉQUENCE SUR LE RENDEMENT

Nombre de tours par minute de l'induit	920	1 120	1 140	1 140	1 350	1 350	1 670	1 670
Périodes par seconde	46	56	57	57	67,5	67,5	83,5	83,5
Potentiel aux bornes du primaire du transformateur, en volts.	40	80	80	80	80	80	80	80
Potentiel aux bornes du secondaire	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Volume d'air employé, en litres.	70	70	70	68	70	71	68	70
Durée de l'expérience en minutes	15	15	15	15	15	15	15	15
Ozone produit, en milligrammes.	92	105	110	113,5	147	138	180	170

TABLEAU II. — INFLUENCE DU DÉBIT SUR LE RENDEMENT

TEMPÉRATURE	DURÉE	AIR		OZONE				RENDEMENTS. — OZONE		
		Volume employé.	Débit par heure.	Obtenu.	Par litre d'air.	Par heure.	Par jour.	Par cheval-heure.	Par cheval-jour.	Pour 100 du rendement théorique.
Degrés.	h. m.	Litres.	Litres.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	
18	1,15	45	36	0,598	0,0133	0,479	11,496	37,11	890,64	3,60
22	1 »	84	84	0,983	0,0117	0,983	23,592	76,15	1 827,60	7,39
18	0,40	90	135	0,855	0,0095	1,282	30,768	99,32	2 383,68	9,64
18	0,40	105	157,5	0,871	0,0083	1,307	31,368	101,26	2 430,24	9,83
18	0,35	105	180	0,861	0,0082	1,476	35,420	114,35	2 744,40	11,10
18	0,30	128	256	0,819	0,0064	1,638	39,312	126,90	3 045,60	12,32
18	0,32	190	356,2	0,893	0,0047	1,674	40,176	129,69	3 112,56	12,58
22	0,34	210	370	0,869	0,0041	1,532	36,768	118,69	2 848,56	11,51
21	0,30	200	400	1,000	0,005	2,000	48,000	154,95	3 718,80	15,04

Il résulte des chiffres de ce tableau que la quantité d'ozone produite augmente sensiblement avec la vitesse du courant gazeux, qu'elle est d'autant plus élevée que le gaz sortant est moins riche en ozone, et qu'elle peut atteindre 3,718 kgr par cheval et par jour, ce qui porte à 15,04 p. 100 du chiffre théorique un rendement qui jusqu'ici ne dépassait pas 2 p. 100; M. Otto dit d'autre part que, dans les conditions où il opérait, on ne peut constater aucun échauffement notable, même après plusieurs heures de marche.

Les résultats obtenus par M. Otto sont donc des plus encourageants pour l'avenir de l'industrie de l'ozone et il importait de les signaler. Pour être impartial, nous devons ajouter qu'ils ont été mis en doute par M. Andréoli (1) qui attribue à une erreur dans le dosage de l'ozone les rendements élevés trouvés, donnant comme explication de son incrédulité le fait qu'il y a trois ans, un chimiste, chargé de doser l'ozone produit par un de ses générateurs, avait trouvé des rendements variant de 500 gr à 1 000 gr par cheval-heure, par suite d'une erreur de dosage.

Jusqu'à quel point est fondée l'observation de M. Andréoli? C'est ce que nous ne saurions dire. L'une des méthodes employées par M. Otto, exposée tout au long dans sa thèse, est la méthode classique de la décomposition par l'ozone d'une solution d'iodure de potassium additionnée d'acide sulfurique et de la détermination de l'iode mis en liberté par une solution titrée d'hyposulfite de sodium. M. Otto a aussi employé, principalement pour le dosage des mélanges riches en ozone, une autre méthode consistant à mesurer l'augmentation de volume de l'air ozonisé soumis à une température de 250°, augmentation de volume qui est égale à la moitié du volume d'ozone contenu dans le mélange; mais il a eu soin de s'assurer par des expériences comparatives que cette méthode donne exactement les mêmes résultats que la première sur laquelle elle présente l'avantage d'être plus rapide. Une erreur de dosage ne pourrait donc provenir que de la présence des composés oxygénés de l'azote dans le gaz analysé, mais alors cette erreur devrait surtout se faire sentir sur les résultats des expériences faites avec un faible débit, les composés de l'azote se formant principalement quand l'air est soumis longtemps à l'action de l'effluve et par conséquent ne pourrait guère influencer les rendements élevés. De plus, ceux-ci se rapportent à des mélanges relativement peu riches en ozone, cas où la méthode chimique possède sa plus grande sensibilité et où, par suite, une erreur importante n'est guère possible.

(1) *L'Électricien* du 22 mai 1897, t. XIII, p. 323.

Laissant la préparation industrielle de l'ozone, nous dirons quelques mots de

LA PRÉPARATION DE L'OZONE DANS LES LABORATOIRES

pour laquelle la question du rendement n'est pas primordiale.

M. Otto a obtenu de bons résultats avec un appareil fort simple constitué par deux tubes de verre, de 70 cm de long, concentriques et séparés par un intervalle de 1,5 mm dans lequel passe l'oxygène ou l'air à ozoniser. Le tube intérieur est rempli de papier d'étain; le tube extérieur est recouvert d'une feuille de même métal. Avec un courant alternatif de 80 périodes à 6 000 volts, cet ozoniseur peut fonctionner plusieurs heures sans s'échauffer s'ensiblement et produire avec de l'oxygène pur, circulant à raison de 20 litres par heure, 50 mgr environ d'ozone par litre de gaz.

M. Andreoli emploie un ozoniseur constitué par 3 ou 4 éléments cylindriques formant un faisceau inséré dans un tube de verre que traverse le gaz à ozoniser ; chaque élément est formé d'un tube de verre dans l'axe duquel est tendu un fil métallique; extérieurement est enroulé un petit ruban d'aluminium à dents de scie ; le vide est fait dans

ces tubes ; les armatures externes des éléments sont en contact. On peut faire fonctionner l'appareil avec un transformateur donnant 4 000, 5 000 et même 10 000 volts sans rupture du verre ; on peut même se servir d'un transformateur Tesla donnant 80 000 volts, mais alors, lorsque le gaz soumis à l'action de l'effluve est l'air, il y a formation abondante de vapeurs nitreuses. M. Andreoli n'indique pas le rendement de cet appareil.

LES PROPRIÉTÉS DE L'OZONE

ont été étudiées avec soin par M. Otto.

Tout d'abord il a observé et expliqué un phénomène déjà signalé par Fahring en 1890 : la phosphorescence que prend l'eau quand elle est agitée dans une atmosphère ozonizée. En essayant successivement de l'eau pure, de l'eau ordinaire, de l'eau de mer, il a reconnu que cette phosphorescence est due à la présence dans l'eau de matières organiques d'origine animale ou végétale qui s'oxydent sous l'influence de l'ozone. Il conclut de là que si la phosphorescence de la mer est parfois due à la lueur émise par certains animacules, elle est souvent due, surtout après un temps orageux, à l'oxydation résultant de l'agitation énergique de l'eau et de l'air ozonisé provoquée par le choc des lames, des avirons ou d'une hélice.

M. Otto a également observé cette phosphorescence avec l'alcool, la benzine, le thiophène, le lait et l'urine; ces deux derniers liquides donnent une phosphorescence beaucoup plus intense que celle de l'eau ordinaire.

Mais ce sont surtout les propriétés chimiques de l'ozone que M. Otto a explorées. Ses recherches ont porté sur les carbures saturés et non saturés de la série grasse, sur quelques carbures à noyau benzénique simple ou à chaînes latérales ouvertes, sur les alcools monoatomiques primaires, méthylique, éthylique, sur le glycol, la glycérine, le phénol et les diphénols, pyrocatéchine, résorsine et hydroquinone, sur la phénylamine et enfin sur la paratoluidine.

Sans entrer dans le détail de ces recherches, ce qui nous entraînerait trop loin, nous en indiquerons brièvement les résultats.

Le formène CH^4 et l'éthylène C^2H^4 sont oxydés à froid et donnent l'aldéhyde et l'acide correspondants.

Avec l'acétylène la réaction est accompagnée d'un dégagement de chaleur et de lumière et si le gaz ozonisé est riche en ozone (50 mgr par litre), il y a une violente explosion.

En faisant barboter de l'oxygène ozonisé dans du benzène C^6H^6, il y a formation d'un dépôt, qui, chauffé, fait explosion.

L'eugénol, le safrol, l'estragol et leurs isomètres donnent les aldéhydes correspondantes ; avec l'iso-safrol c'est l'héliotropine; avec l'iso-eugénol, c'est la vaniline.

L'alcool méthylique et l'alcool éthylique donnent les aldéhydes et acides correspondants; le glycol, de l'acide oxalique et de l'acide glyoxylique; la glycérine, de l'acide mésoxalique; le phénol et les dyphénols se résinifient ; la phénylamine ou aniline donne de la quinone et de l'azobenzène; la paratoluidine, du parazotuolène.

La préparation de la vaniline par l'ozone et l'iso-eugénol, donnant lieu à une industrie des plus lucratives, il n'est pas inutile de s'y arrêter un instant; voici ce que dit M. Otto à ce sujet :

« L'opération peut se faire en dissolvant 100 gr d'iso-eugénol dans 1 000 gr d'acide acétique et en faisant passer dans le mélange un courant d'air ozoné. L'ozone réagit nettement, même à froid; mais il vaut mieux opérer au bain-marie. On a soin de surmonter le ballon d'un long réfrigérant à reflux pour condenser les vapeurs d'acide acétique.

» En employant un courant gazeux circulant à la vitesse de 400 litres à l'heure et contenant 5 mgr d'ozone par litre, l'oxydation est terminée au bout de vingt-quatre heures. On distille au bain-marie et dans le vide

l'excès d'acide acétique; le résidu est dissous dans l'éther; on agite la solution éthérée avec du bisulfite de sodium à 40° B, qui s'empare de la vaniline. La combinaison bisulfitique formée ne peut, en général, s'isoler à l'état solide. Il m'est arrivé cependant de l'obtenir. Dans la majeure partie des cas elle reste en solution dans l'excès de bisulfite.

» Pour séparer la combinaison bisulfitique de la solution éthérée, on décante simplement la couche inférieure au moyen d'un entonnoir à robinet. Décomposée à 50° par de l'acide sulfurique étendu de son volume d'eau, elle laisse surnager une couche huileuse qui n'est autre que de la vaniline.

» On refroidit et l'on recueille toute la vaniline produite par une série d'épuisements méthodiques à l'éther ; ce dernier laisse par évaporation la vaniline brute que l'on purifie par distillation et que l'on fait cristalliser.

« La vaniline obtenue se présente sous la forme d'une masse soyeuse blanche. Elle fond à 80°, bout à 280° à la pression normale en se résinifiant partiellement. Sous un vide de 20 mm elle distille à 170°. Elle est peu soluble dans l'eau froide, très soluble dans l'eau chaude, dans l'alcool et dans l'éther.

» ... La vaniline, préparée par la méthode que je viens de décrire, est identique à celle que l'on obtient par épuisement des gousses de vanille; ses solutions jaunissent à l'air et il est très difficile de l'avoir en cristaux bien blancs. »

Cette méthode synthétique de préparation de la vaniline est des plus intéressantes et fait espérer que M. Otto saura, dans cette voie, faire de nouvelles découvertes.

Il nous resterait maintenant à parler des applications industrielles de l'ozone.

A part la préparation de la vaniline que nous venons de voir la thèse de M. Otto ne contient rien à ce sujet. La conférence de M. Andreoli est bien documentée sous ce rapport : faite devant un public composé de chimistes industriels, il était naturel de mettre en évidence les applications de l'ozone. Toutefois nous n'y avons rencontré aucune application qui n'ait déjà été signalée, ni aucun renseignement nouveau sur les applications connues.

J. Blondin.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Accumulateur à électrodes solubles H. Lake (1).

Dans cet accumulateur l'électrode négative est formée d'un cylindre de zinc N plongeant dans une dissolution de soude caustique S contenue par un vase poreux V. L'électrode positive est constituée par un cylindre P en plomb, recouvert d'oxyde O, immergé dans une solution d'acide sulfurique dilué contenue dans l'espace annulaire central.

L'inventeur revendique pour l'élément secondaire ainsi constitué, l'avantage d'avoir une force électromotrice très élevée. Voici,

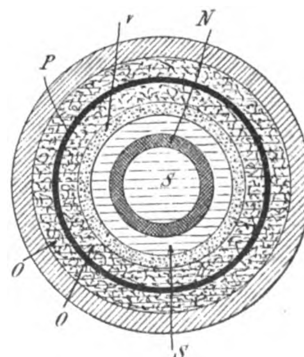
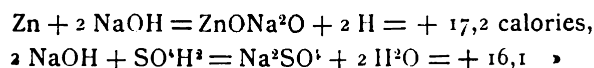


Fig. 1. — Accumulateur à haute tension. (H. Lake.)

d'après le brevet, les réactions qui se produisent:

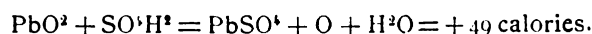
(1) Brevet anglais, n° 7259 présenté le 2 avril 1896, délivré le 23 janvier 1897; 2 figures.

A l'électrode négative :



$$Zn + 2\,NaOH = ZnONa^2O + 2\,H = +\,17{,}2 \text{ calories,}$$
$$2\,NaOH + SO^4H^2 = Na^2SO^4 + 2\,H^2O = +\,16{,}1 \quad »$$

A l'électrode positive :



$$PbO^2 + SO^4H^2 = PbSO^4 + O + H^2O = +\,49 \text{ calories.}$$

Il résulterait de ces réactions un dégagement de chaleur de $17{,}2 + 16{,}1 + 49 = 82{,}3$, soit une force électromotrice de $82{,}3 \times 0{,}0434 = 3{,}67$ volts, une grande calorie donnant théoriquement 0,0434 volt; en pratique cette force électromotrice est de 3,2 à 3,3 volts.

L. D.

Ferme-circuit Simonis pour la destruction des trains en marche [1].

Le major Simonis, du génie belge, a imaginé et exposé à Anvers, en 1894, un ferme-circuit automatique en vue de la destruction des trains de chemins de fer en marche. Cet appareil est disposé sous une traverse; c'est la dépression de cette traverse sous le poids des véhicules qui détermine un contact et par suite le passage dans une amorce du courant fourni par une pile. Le rôle du ferme-circuit est ainsi rendu très simple; ses principales qualités seront : être robuste et facile à dissimuler.

L'appareil étudié paraît répondre bien à ces conditions. Il se compose d'un bloc cylin-

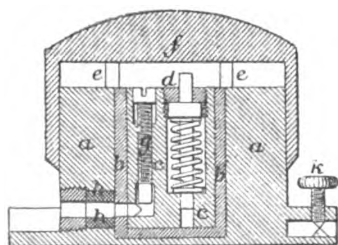


Fig. 1. — Ferme-circuit Simonis.

drique *a b c* (fig. 1) et d'un chapeau *f* qui le coiffe à frottement doux.

Le bloc comprend deux pièces *a*, *c* isolées électriquement l'une de l'autre par un godet *b* en ébonite. Deux vis de pression *g*, *k* permettent de relier deux conducteurs respectivement à la pièce intérieure et à la pièce extérieure; un manchon en caoutchouc *h* assure l'isolation du conducteur qui traverse *a*. Quatre broches *e e*, montées sur des ressorts à boudin, en contact métallique avec *a* et faisant une saillie de 11 mm supportent normalement le chapeau *f* qui peut ainsi s'abaisser sous une pression suffisante et venir en contact métallique avec *c*. Si la pression devient plus forte, *d* qui est aussi montée sur ressort à boudin, s'enfonce complètement, et le chapeau *f*, reposant dès lors sur *a b c*, peut résister à des charges énormes.

Pour mettre en place ce ferme-circuit on creuse perpendiculairement à la traverse, sous l'une de ses moitiés, une tranchée de 1,25 m de longueur et d'une profondeur supérieure 0,20 m à l'enfoncement de la traverse. On loge au fond de cette tranchée une semelle de $100 \times 20 \times 5$ cm environ, sur laquelle on pose un coin de 40 cm de long sur 2 à 4 cm d'épaisseur, on y ajoute un mandrin en bois ayant même hauteur que le ferme-circuit, autour duquel on tasse la terre.

On enlève le mandrin, on le remplace par le ferme-circuit et on agit sur le coin de manière que le rebord du chapeau vienne affleurer un trait de repère gravé sur *a*. On remblaie de manière à dissimuler le tout.

Dans la position indiquée, le fond du chapeau est à 2 mm de la broche; et comme l'enfoncement de la traverse sous le passage d'un train a été trouvée compris entre 2 et 8 mm quel que soit le poids du rail (voie normale), le fonctionnement est assuré.

On peut, d'ailleurs, rendre l'efficacité de l'explosion plus sûre encore en intercalant deux appareils, placés à 50 m l'un de l'autre environ, dans un même circuit électrique. De cette manière les charges logées sous les rails ne joueront sous le passage du train que lorsque celui-ci recouvrira tout l'intervalle entre les deux ferme-circuits.

---

[1] *Mittheilungen ü. G. d. A, u. Genie-Vesens.*

Distributeur automatique d'électricité
Système Atherton, Knight et Ellis (¹).

L'appareil inventé par W. Jacob Atherton, G. Knight et G. Ellis, applique à l'électricité le système, aujourd'hui si répandu, de la distribution automatique d'un objet quelconque contre le paiement préalable d'une somme déterminée, représentée par une pièce de

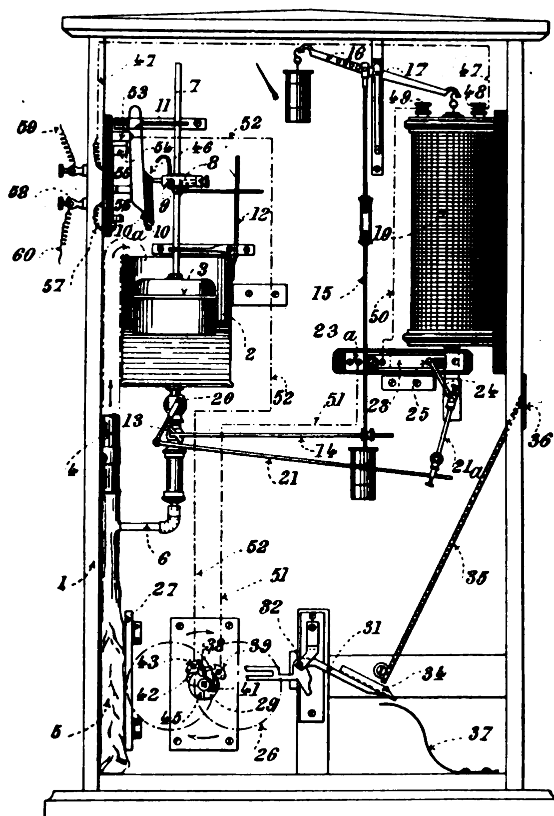


Fig. 1. — Distributeur automatique d'électricité J. Atherton, Knight et Ellis.

monnaie unique; ici, c'est une quantité d'électricité qui est fournie en échange de la pièce.

L'instrument repose essentiellement sur l'emploi de deux réservoirs, reliés ensemble et remplis d'un liquide ou d'un gaz; l'écoulement de ce liquide, du vase supérieur dans l'inférieur, constitue le mode de mesure de la quantité d'électricité fournie.

Une pièce de monnaie déterminée étant introduite dans l'ouverture 36 (fig. 1 et 2), glisse par la coulisse 35 et arrive à l'extrémité du levier 34, que son poids fait incliner; dans le mouvement, l'autre extrémité du levier se soulève et dégage la roue à rochet 33. Une manette 29^a, extérieure à la boîte, permet alors de faire tourner l'axe 29, qui

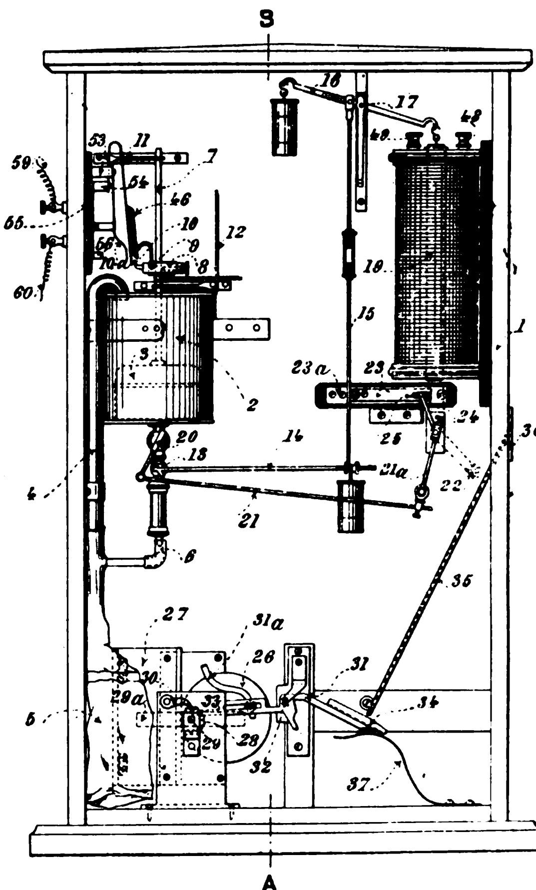


Fig. 2. — Distributeur Atherton, Knight et Ellis.

porte à la fois la roue à rochet et l'excentrique 26. En faisant faire un mouvement de rotation complet à la manette, l'excentrique entraîné vient comprimer le récipient inférieur 5, qui est flexible, et force le liquide à remonter dans le réservoir supérieur 2, où il soulève le flotteur 3. Après la rotation complète, l'excentrique reprend sa place et l'axe ne peut plus tourner que si on met une nouvelle pièce de monnaie. Pour éviter que l'excentrique soit laissé dans une position inter-

(¹) Brevet anglais n° 6896; 27 mars 1897, 8 figures.

médiaire, les ressorts 42 et 43, qui ferment le circuit, ne sont reliés que quand la manette est à sa position initiale.

Dès que le flotteur se soulève, il applique l'un contre l'autre les ressorts 10 et 10^a qui ferment le circuit et permettent d'utiliser le courant ; cette fermeture du circuit est maintenue tant qu'il reste du liquide dans le réservoir supérieur.

Le trajet du courant dans l'appareil est le suivant : partant de la borne 59, il se rend au solénoïde 19 dont le rôle est de proportionner le débit du liquide à l'intensité du courant employé; après le solénoïde, le courant traverse l'interrupteur 23, puis un autre interrupteur dont nous avons déjà parlé, et qui est solidaire de l'excentrique ; finalement il revient à la borne 60 en passant par les ressorts 10 et 10^a.

Quand le courant traverse l'appareil, le solénoïde attire un noyau de fer doux porté par un fléau de balance, ce dernier agit luimême sur le robinet 13, par l'intermédiaire des leviers 14 et 15; les choses sont réglées de telle sorte que la vitesse d'écoulement du liquide dans le récepteur inférieur est proportionnelle à l'intensité du courant; dans ces conditions, le réservoir se vide dans un temps plus ou moins long, mais toujours après qu'une quantité déterminée d'électricité a traversé l'appareil. Pour obtenir une nouvelle livraison de courant, il faut introduire une nouvelle pièce et faire remonter le liquide du récepteur dans le réservoir par la manœuvre de la manette 29^a.

Dans le but de permettre au client d'employer le courant au moment qui lui convient, une manette 22, extérieure à la boite comme celle de l'excentrique, commande à la fois un interrupteur de courant 23, 23^a, et, par le moyen des leviers 21 et 21^a, un robinet 20. Cette disposition permet de couper le courant et d'arrêter en même temps le débit du liquide, de telle sorte que la quantité d'électricité à laquelle on a encore droit, reste disponible ; il suffit de ramener la manette à sa position initiale pour que le courant passe et pour que le liquide s'écoule.

H. A.

Régulation des transformateurs ;

Par J. Bijur [1].

On sait qu'on admet en général que l'induction est sensiblement constante dans un transformateur quelle que soit la charge ; cette hypothèse fait perdre un peu de vue la possibilité d'expliquer une partie de la chute de tension du secondaire en charge. Si en effet de la chute de tension totale dans le secondaire on retranche les chutes de tension dues aux résistances, qu'on peut facilement calculer connaissant celles-ci et le rapport des nombres de spires, on obtient la partie de la chute due non seulement à l'influence directe des fuites magnétiques mais encore à la diminution de l'induction et il arrive souvent que la première est beaucoup plus faible que la seconde.

C'est dans le but d'étudier l'influence de la diminution de l'induction que l'auteur a entrepris son étude sur la régulation des transformateurs en prenant les dispositions nécessaires pour pouvoir séparer les différentes chutes partielles.

Le premier transformateur qu'il a essayé a été construit, en vue de cette étude, de façon à avoir très peu de fuites magnétiques ; c'est un transformateur en anneau genre Zipernoswki. Le diamètre intérieur des disques de tôle, isolés entre eux par oxydation de la surface est de 23 cm, sa largeur de 10 cm et son épaisseur de 2,15 cm. L'enroulement est formé par 40 bobines de fil de 0,81 mm de diamètre réparties symétriquement sur l'anneau.

Les 20 bobines de haute tension alternant avec celles de basse tension ont 100 spires chacune, celles de basse tension 58 ; les premières sont réunies par 5 en séries et par 4 en parallèle ; les secondes sont toutes en quantité ; les nombres de spires primaires et

(1) *Electrical World*, du 27 mars 1897.

secondaires sont donc bien de 500 et de 58. Ce transformateur porte en outre deux bobines d'épreuve faites avec un fil très fin suivant exactement le fil principal de deux bobines, une de la haute tension et une de la basse tension; et ce, de façon à être coupées par le même flux que les bobines de l'enroulement principal.

La résistance du primaire était de 2,25 ohms et celle du secondaire de 0,72 ohm; la charge, constituée par des lampes à incandescence, était mesurée à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre; un voltmètre et un ampèremètre étaient également placés dans la haute tension.

Les résultats obtenus avec cet appareil sont représentés sur la figure 1. La courbe 4 repré-

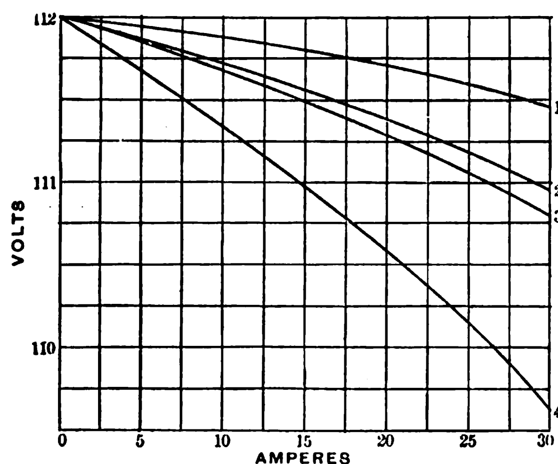


Fig. 1. — Chute de tension dans un transformateur à circuit magnétique en anneau en fonction du débit dans le secondaire.

sente la variation de la tension aux bornes lorsque la charge varie de 0 à 30 ampères, la tension primaire étant maintenue constante; la chute totale est à pleine charge de 2,3 volts sur la même figure on porte en 3 les valeurs de la force électromotrice induite dans la bobine secondaire d'épreuve, la différence des ordonnées des deux courbes représente la perte de tension dans l'enroulement secondaire seul. La courbe 3 pourrait s'obtenir en portant à partir de 4 les valeurs $R_2 I_2$ de la tension perdue dans le secondaire.

La force électromotrice induite dans chacun des enroulements d'épreuve représentant l'induction dans l'enroulement correspondant du transformateur, la différence entre les lectures simultanées dans ces deux bobines donnera la chute de tension due aux fuites magnétiques; les valeurs de celle-ci portées à partir de la courbe 3 donnent la courbe 2, On voit que la chute de tension due aux fuites n'est ici en pleine charge que les 6,5 p. 100 de la perte totale.

Finalement si on porte au-dessus les valeurs au voltage $R_1 I_1$ perdu dans le primaire et divisée préalablement par le rapport de transformation, on obtient la courbe 1, qui, comme on le voit, n'est nullement une horizontale et montre par suite que toutes les causes de pertes n'ont pas été analysées.

On sait que lorsque la charge augmente il en est de même du courant primaire; la force contre-électromotrice de self-induction diminue donc avec la charge et comme elle dépend de l'induction, celle-ci diminue également et occasionne de ce fait une chute de tension dans le secondaire.

En somme, les valeurs relatives des différentes parties de la chute dans le secondaire sont dans le cas actuel :

Résistance secondaire.	49,1	p. 100
Diminution d'induction dans le fer	23,1	»
Résistance primaire.	21,3	»
Fuites magnétiques.	6,5	»

Les études de MM. Ryan, Merritt, Kapp, etc., ont montré que la diminution de pertes par l'hystérésis dans le fer tient aux quatre causes suivantes :

1° Fuites magnétiques, dont l'effet est d'abaisser l'induction dans les parties du circuit magnétique recouvertes dans le circuit secondaire ;

2° Abaissement de la force contre-électromotrice dans le primaire comme nous venons de le voir plus haut;

3° Courant de Foucault dont l'effet peut être comparé à une charge supplémentaire constante sur le secondaire.

4° Diminution des pertes par hystérésis avec l'élévation de température du fer.

Pour mieux comprendre l'effet des causes précédentes, l'auteur a construit les courbes périodiques des tensions et des courants par la méthode des électrodynamomètres de M. Duncan.

La figure 2 donne la tension aux bornes

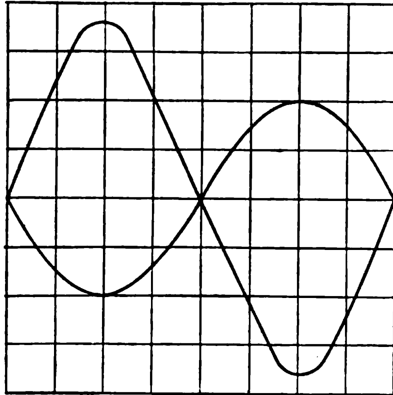


Fig. 2. — Tension périodique aux bornes primaires et secondaires d'un transformateur genre Zipernowski.

primaires et secondaires; la première est assez pointue et indique la présence d'une troisième harmonique; la seconde est plus voisine de la sinusoïde.

Sans charge, les courbes des tensions primaires et secondaires et la force contre-électromotrice primaire ont les mêmes zéros. En charge le décalage entre la tension aux bornes secondaires et la tension primaire ainsi qu'avec la force contre-électromotrice primaire augmente, mais tandis que les zéros de la tension et la force contre-électromotrice primaire restent voisins, ceux-ci se déplacent considérablement par rapport à ceux de la tension secondaire; comme la seule différence entre les deux enroulements est la présence des fuites magnétiques, ceci donne la preuve que le retard de la tension secondaire sur la tension primaire est dû uniquement aux fuites magnétiques.

Pour bien comprendre pourquoi les fuites non seulement amoindrissent la valeur de la tension secondaire mais encore augmentent son retard de phase par rapport à la tension primaire, considérons les courbes périodiques des intensités ou mieux des ampère-tours primaires et secondaires (fig. 3).

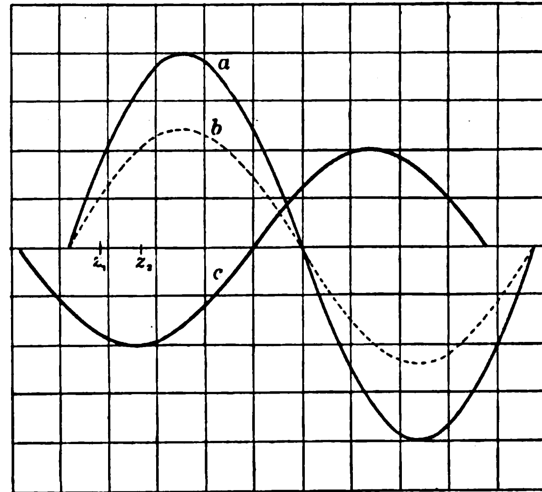


Fig. 3. — *a*, courbe des ampèretours primaires vrais; — *b*, des ampèretours réduits pour tenir compte de l'effet des fuites magnétiques; — *c*, des ampèretours secondaires.

L'effet des fuites étant de réduire l'induction, tout se passe comme si les ampèretours primaires étaient diminués, c'est-à-dire comme si la courbe des ampèretours primaires était ramenée de *a* à *b*. La courbe périodique résultante qui sans fuites avait un zéro au point z_1, aura avec les fuites ce même zéro en un point z_2 décalé en arrière par rapport à z_1; de plus la valeur maximum de la résultante sera diminuée à la fois du fait de décalage et du fait de l'abaissement de la courbe des ampèretours primaires apparents.

Avec courant secondaire constant, l'effet des fuites magnétiques est donc bien de diminuer l'induction et d'augmenter le décalage entre les tensions primaire et secondaire.

Outre le transformateur précédent, l'auteur a expérimenté deux transformateurs ordinaires pour voir comment les conclusions précédentes sont modifiées par la pratique; ces transformateurs étaient l'un du type Stanley, l'autre de la compagnie Westinghouse et ont donné des résultats analogues.

Les courbes des différentes pertes de tension relevées sur le transformateur Westinghouse sont représentées sur la figure 4. Les résistances de cet appareil étaient 14,25 ohms pour le primaire et 0,14 pour le secondaire. La différence entre les courbes des figures 1

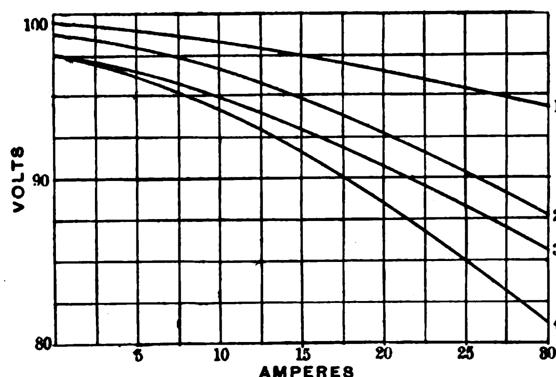


Fig. 4. — Chute de tension dans un transformateur Westinghouse.

et 4 tient surtout à la grandeur de ces résistances, mais la conclusion au point de vue de l'importance relative de la chute due à la diminution de l'induction subsiste complètement.

Ce qui précède montre également que l'introduction d'un condensateur dans le secondaire d'un transformateur en décalant en avant de la tension le courant secondaire diminue le décalage entre ce courant et le courant primaire et par suite augmente la valeur maxima de la résultante des ampère-tours et l'induction qui en dépend.

L'effet de l'hystérésis comme celui des courants de Foucault peut être comparé à une charge constante du secondaire, leur influence sur les courbes correspond à un déplacement d'origine sur l'axe des ampères. Pour obtenir un transformateur ayant une faible chute de tension. il faut donc prendre une induction éloignée de la saturation, distribuer les enroulements aussi symétriquement que possible en même temps qu'on augmente leur division.

J. R.

Sur l'emploi des lampes à incandescence à 110 et à 220 volts;

Par J.-W. Howell [1].

L'emploi des lampes à incandescence fonctionnant sous la différence de potentiel normale de 220 volts présenterait de grands avantages comparativement à l'emploi des lampes actuelles à 110 volts. En doublant la tension de distribution, on pourrait réduire au quart les dépenses de cuivre dans les canalisations, dépenses qui représentent, à l'heure actuelle la plus grande partie du capital engagé dans les distributions d'éclairage électrique. L'économie ainsi réalisée serait assez importante pour qu'on puisse en sacrifier une partie et augmenter la section des conducteurs au delà de la valeur strictement nécessaire, et réduire ainsi la chute de potentiel en ligne; les lampes seraient alors moins sensibles aux variations de charge sur le réseau et l'écart entre les lampes éloignées et les lampes voisines de l'usine serait réduit à un minimum négligeable. Toutes ces conditions sont très avantageuses.

Mais, d'un autre côté, la réalisation pratique d'une lampe à 220 volts n'est pas sans présenter de nombreuses difficultés qui ne sont pas encore surmontées. Il faut qu'une lampe de ce genre satisfasse aux conditions suivantes :

1° Que sa puissance lumineuse ne soit pas plus grande que celles des lampes actuelles, car on ne peut obliger le consommateur à employer des lampes de 25 ou 30 bougies lorsque des lampes de 10 ou de 16 bougies lui suffisent ;

2° Que sa dépense spécifique, en watts par bougie, ne soit pas plus élevée que dans les lampes actuelles ;

3° Que sa durée et son prix soient aussi les mêmes qu'avec les lampes à 110 volts.

Si ces conditions ne sont pas satisfaites, le client verra ses dépenses augmenter et, d'un autre côté, comme il faudra une plus grande

[1] *The Electrical World*, 5 juin 1897, p. 705.

puissance à l'usine pour alimenter un même nombre de lampes qu'auparavant, l'économie indiquée plus haut sera contrebalancée par des dépenses d'installation et d'exploitation de l'usine, toutes conditions inacceptables.

Or, on sait avec quelle rapidité augmente la puissance lumineuse d'une lampe à incandescence lorsqu'on augmente la différence de potentiel à ses bornes. Si l'on double le voltage, pour que sa puissance lumineuse reste la même, il faudra ou augmenter sa résistance, ou diminuer sa surface, ou modifier le pouvoir émissif de celle-ci, ce qui revient aux conditions suivantes :

1° Diminuer le diamètre du filament ;

2° Diminuer le pouvoir rayonnant de sa surface ;

3° Augmenter sa longueur ;

4° Augmenter sa résistance spécifique.

Voyons comment ces conditions peuvent se concilier avec la fabrication pratique des lampes à incandescence.

Les filaments sont formés d'une âme en charbon amorphe qu'on recouvre, par l'opération du nourrissage, d'une couche plus ou moins épaisse de graphite. Cette couche de graphite a, comme on sait, plusieurs fonctions importantes : elle régularise le diamètre du filament ; elle augmente le pouvoir émissif de la surface, c'est-à-dire la quantité de rayons lumineux émis par le filament à une température donnée ; comme sa résistance spécifique est environ sept fois moindre que celle du charbon amorphe qui constitue l'âme, on peut, en déposant une couche de graphite plus ou moins épaisse, former des filaments de résistances spécifiques très variables, pour lampes de voltages différents ; enfin, elle donne au filament une beaucoup plus grande stabilité aux températures élevées. Mais pour que ces avantages soient obtenus, il faut que le dépôt graphitique ait une certaine épaisseur minima ; si celle-ci n'est pas atteinte, le graphite ne tient pas ; sa disparition entraîne une augmentation de résistance considérable, d'où une diminution encore plus grande de puissance lumineuse, puisque la lampe est alimentée à potentiel constant.

L'épaisseur du revêtement graphitique ne pouvant descendre au dessous d'une certaine valeur, on se rend compte facilement que le diamètre du filament atteint bientôt une limite inférieure lorsque l'âme en carbone amorphe doit être si ténue que sa fabrication pratique n'est plus possible ; d'ailleurs, lorsqu'on diminue la section de l'âme, la résistance spécifique diminue aussi rapidement puisque le graphite prédomine ; cela conduit à diminuer encore le diamètre. De plus, lorsque la résistance spécifique diminue, la dépense spécifique augmente, c'est-à-dire que la lampe devient moins économique.

Diminuer le pouvoir émissif de la surface diminuerait aussi le rendement en lumière pour une dépense donnée d'énergie électrique.

L'augmentation de longueur accroît la difficulté de fabrication du filament et la difficulté de sa mise en place dans les ampoules.

Toutes choses considérées, la puissance lumineuse minima d'une lampe qu'on peut obtenir dans des conditions pratiques, c'est-à-dire sans sacrifier ni le rendement ni la durée, est de 6 bougies environ à 55 volts, 12 bougies à 110 volts et 24 bougies à 220 volts. Tant que les conditions actuelles de fabrication ne seront pas modifiées et que la puissance lumineuse normale sera de 16 bougies, on voit que l'on ne pourra guère dépasser la tension de 150 volts.

Les lampes de 16 bougies à 220 volts que l'auteur a essayées consommaient de 64 à 80 ou 90 watts, tandis qu'on obtient maintenant d'excellentes lampes à 110 volts ne consommant que 50 watts environ.

Si l'on emploie des filaments en carbone amorphe seul, leur résistance spécifique sera bien plus élevée, mais leur pouvoir émissif sera beaucoup plus faible et ils ne pourront être portés à une aussi haute température que les filaments nourris. Le rendement de la lampe sera très mauvais.

Pour obtenir une lampe pratique fonctionnant sous une différence de potentiel de

220 volts, il faudrait donc trouver un filament de résistance spécifique très élevée, capable de supporter les très hautes températures et ayant un pouvoir émissif considérable. De nombreux inventeurs et constructeurs dirigent leurs efforts vers la réalisation de ce desideratum, notamment en cherchant à perfectionner le filament amorphe pour lui permettre de supporter les hautes températures, et le procédé de revêtement graphitique, pour obtenir un dépôt très mince sur une âme très résistante. On peut donc espérer que la question nettement posée sera prochainement résolue. G. P.

La télégraphie sans fils, systèmes W.-H. Preece et Marconi ;

Par W.-H. Preece (1).

Les nouvelles expériences qui viennent d'avoir lieu en Angleterre sur la télégraphie sans fils montrent une fois de plus que des recherches purement scientifiques conduisent à des applications. En attendant que cet intéressant sujet, dont il a déjà été souvent question dans nos colonnes, soit repris plus longuement, nous nous bornerons à donner une description de l'appareil construit par M. Preece et celui plus récent de M. Marconi qui vient de donner de si brillants résultats.

Le système de télégraphie sans fils de M. Preece, dont les premiers essais datent de 1885, a reçu une application au commencement de l'année 1895. A cette époque, le câble reliant Oban à l'île de Mull étant rompu, la communication entre ces deux points fut rétablie en utilisant deux circuits parallèles, un sur chaque rive, et en transmettant des signaux à travers l'espace à l'aide d'ondes électromagnétiques. L'appareil (fig. 1) relié à chacun des fils se composait d'une roue interruptrice R produisant environ 260 ondulations dans le fil primaire, d'une batterie d'environ 100 éléments Leclanché, d'une clef de Morse, d'un téléphone récepteur et d'un interrupteur servant à mettre en route ou arrêter la roue. Par la rotation plus ou moins prolongée de cette dernière, des courants électriques intenses, alternatifs ou vibratoires, étaient lancés dans le premier circuit, de manière à former des signaux, des lettres et des mots en caractères Morse. Ces variations de courant se transmettaient sous la forme

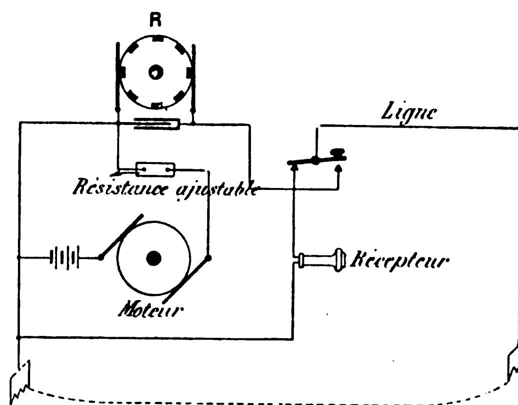


Fig. 1. — Transmission télégraphique sans fils W.-H. Preece.

d'ondes électromagnétiques dans le milieu, et, le circuit secondaire étant placé de façon à être balayé par les ondes éthériques, leur énergie en se transformant en courant secondaire dans le second circuit agissait sur le rècepteur téléphonique qui reproduisait les signaux transmis avec une intensité plus faible, il est vrai, mais encore perceptible à distance de 8 km du transmetteur.

Le système de M. Marconi diffère du précédent en ce que, tandis que M. Preece employait des ondes électromagnétiques de très faible fréquence, il utilise les ondes électriques ou hertziennes de très grande fréquence, lesquelles font fonctionner un relai dont la délicatesse et la sensibilité sont remarquables. De plus, en dehors des fils de connexion ordinaires entre les différentes parties de l'appareil, des conducteurs de longueur très modérée sont suffisants, et l'on peut même s'en dispenser en ayant recours à des réflecteurs.

L'appareil ayant servi aux expériences de transmission entre Penarth et Weston-super-

(1) *The Electrician*, t. XXXIX, n° 7, p. 216, 11 juin 1897.

Mare (distance 14 km) est représenté schématiquement par la figure 2. Le transmetteur est un radiateur de Hertz employé sous la

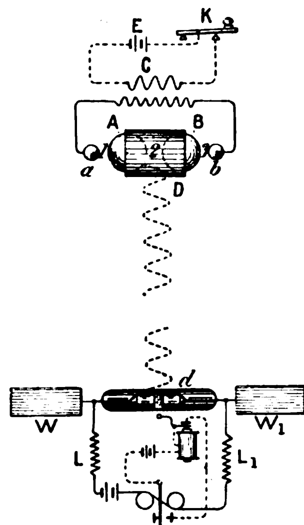


Fig. 2. — Transmission Marconi. Transmetteur et récepteur.

forme que lui a donnée le professeur Righi. Deux sphères pleines A et B en laiton, de 10 cm de diamètre sont fixées aux extrémités d'un tube en matière isolante, de telle façon que la moitié seulement de chacune des sphères s'y trouve renfermée. L'intervalle laissé libre dans l'intérieur du tube est rempli d'huile de vaseline qui, outre la propriété qu'elle possède de maintenir toujours propres les surfaces enfermées des sphères, donne aux ondulations excitées par ces dernières une forme régulière et constante ; elle tend aussi à réduire la longueur d'onde, qui au lieu de se mesurer en mètres comme celles de Hertz, se mesure en centimètres. La distance à laquelle des effets se produisent s'en trouve par suite augmentée. M. Marconi a utilisé généralement des ondes de 120 cm de longueur. Les deux petites sphères *a* et *b* que l'on voit de chaque côté des grandes, sont reliées aux extrémités du circuit secondaire d'une bobine d'induction. Le circuit primaire C de cette bobine est excité par une batterie E dont on lance et interrompt le courant à l'aide de la clef de Morse K.

Le récepteur, qui constitue le point caractéristique du système, est formé d'un petit tube de verre *d* de 4 cm de longueur, dans lequel deux conducteurs cylindriques en argent sont scellés à la lampe ; ceux-ci sont séparés par une distance d'environ un demi-millimètre et l'intervalle est rempli de fine limaille de nickel et d'argent, additionnée d'une trace de mercure. On fait le vide dans le tube jusqu'à 4 mm et on le scelle. Il forme partie d'un circuit complété par une pile locale et un relai télégraphique très sensible.

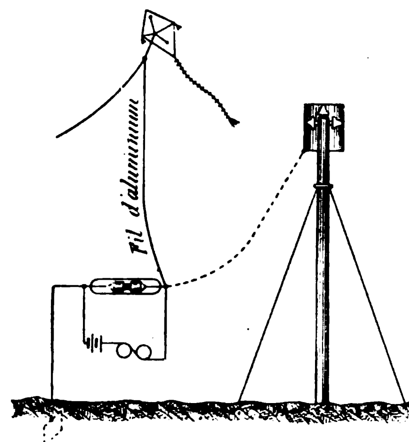


Fig. 3. — Transmission Marconi, avec emploi d'un cerf-volant.

Ainsi constitué, ce tube est un isolateur ; les particules de limailles sont pêle-mêle et en contact très irrégulier, mais sous l'action des ondes électriques qui les traversent lorsqu'on actionne le transmetteur, ces particules sont polarisées, mises en ordre, rangées, et suivant l'expression du professeur Lodge, elles cohèrent en établissant par suite un contact électrique entre les deux conducteurs d'argent du tube. Le circuit de la pile locale se trouve fermé. Le relai télégraphique entre en ce moment en fonction et décohère la limaille par les coups répétés d'un petit marteau qui termine son armature et qui frappe les parois du tube. Ces coups, d'autant plus nombreux que la fermeture du circuit primaire du transmetteur par la clef K est plus longue, permettent la lecture très facile des caractères Morse. D'ailleurs on

peut aussi, comme dans les expériences de Penarth, intercaler un récepteur Morse dans le circuit du relai ; les caractères sont alors reproduits à la façon ordinaire sur une bande de papier.

Le tube récepteur d'ondes est complété par deux plaques métalliques W et W_1 servant à mettre les deux appareils, transmetteur et récepteur, à l'unisson pour les oscillations électriques : deux bobines de self-induction L et L_1 intercalées dans le circuit local servent également au même but.

Afin de faciliter le passage des ondes à travers l'espace et d'augmenter leurs effets, les expérimentateurs ont pensé à employer des miroirs spéciaux ; mais ils ont dû les abandonner à cause de leur prix et du temps exigé pour leur fabrication.

Dans le cas où un obstacle s'oppose au libre passage des ondes électriques dans l'air, on peut tourner en partie cette difficulté en disposant les appareils comme l'indique la figure 3. L'un des pôles du récepteur est relié à la terre et l'autre fixé au sommet d'un mât ou relié à un cerf-volant recouvert de papier d'étain. Avec cette disposition, l'usage des plaques W et W_1 devient inutile, mais il faut aussi, dans ce cas, mettre l'un des pôles du transmetteur à la terre.

La transmission simultanée de plusieurs messages dans des directions différentes a pu être réalisée ; il suffit d'accorder les transmetteurs et récepteurs pour une même fréquence.

D'après M. Preece, si, malgré les résultats déjà acquis, le système de M. Marconi exige de grands perfectionnements avant d'entrer dans la pratique, il n'en constitue pas moins un progrès scientifique très important, et, tel qu'il est, rendra d'éminents services dans les communications des bateaux-phares avec la côte. L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Nouvelle méthode optique d'étude des courants alternatifs ;

Par H. Abraham et H. Buisson [1].

« Différentes méthodes optiques ont été proposées pour l'étude des courants rapidement variables ; elles sont basées sur ce fait, démontré par MM. Bichat et Blondlot, que la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux dans un champ magnétique n'est affectée d'aucun retard appréciable sur les variations de ce champ. Telles sont les méthodes de M. Crehore [2] et de M. Pionchon [3].

» Dans cette dernière, qui est une méthode stroboscopique, on a à mesurer une rotation, avec l'inconvénient dû à la dispersion, et d'autre part le mode d'éclairement n'est pas rigoureusement instantané.

» On peut la modifier de la façon suivante pour en faire une méthode de zéro ;

» On compense la rotation produite par le courant alternatif au moyen de celle qui est produite par un courant continu directement mesurable, et cela à un moment donné, toujours le même, de la période, en faisant passer un faisceau lumineux à ce moment seulement.

» Le dispositif est le suivant :

» Un tube de verre contient un liquide dont le pouvoir rotatoire est considérable (iodomercurate alcalin en solution concentrée). Il est fermé à ses extrémités par des glaces à faces planes et parallèles.

» Sur ce tube sont placées bout à bout deux bobines ayant un grand nombre de spires. Le tube métallique sur lequel le fil est enroulé a été fendu suivant une génératrice pour y évi-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 92, séance du 12 juillet 1897.

(2) Crehore. *The physical Review*, t. II, p. 122. *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 337.

(3) Pionchon. *Comptes rendus*, t. CXX, p. 872.

ter les courants induits . En avant se trouve un polarisateur à pénombre et à la suite est placé un nicol analyseur. Enfin, une petite lunette sert à viser les deux plages du polariseur.

On éclaire par l'étincelle d'un condensateur, chargé par une bobine d'induction. Le primaire de cette bobine est relié d'une part à une bague métallique interrompue placée sur l'axe même de la machine qui produit le courant alternatif, d'autre part à un balai qui frotte sur cette bague. De cette façon, le circuit est rompu et l'étincelle éclate toujours au même moment de la période, puisqu'elle est commandée par la machine elle-même. On a ainsi une source lumineuse très intense et d'une durée absolument négligeable par rapport à la période du courant étudié.

» On règle l'analyseur pour obtenir l'égalité d'éclairement des deux plages. On lance le courant alternatif dans une des bobines, le courant continu dans l'autre. On fait varier, au moyen d'un rhéostat, l'intensité de ce dernier, pour rétablir l'égalité d'éclairement. La valeur de cette intensité, donnée par un ampèremètre, est celle du courant alternatif à l'instant choisi.

» Pour faire varier la phase, on déplace le balai qui assure le contact interrompu en le faisant tourner d'un angle connu autour de l'axe de la machine. On obtient ainsi une série de valeurs de l'intensité du courant alternatif pour les différentes phases de la période, et l'on peut représenter par une courbe, construite par points, les variations de cette intensité.

» La sensibilité de la méthode n'est limitée que par les irrégularités mêmes du courant, d'une période à l'autre, comme du reste pour toute méthode stroboscopique, et aussi par l'usure du balai frottant qui peut entraîner une erreur sur la valeur de la phase.

» Si l'on n'a pas la dynamo elle-même à sa disposition, on peut placer le contact tournant sur l'arbre d'un moteur synchrone mis en mouvement par le courant ; mais ce dispositif est moins bon, le moteur n'étant jamais à une différence de phase rigoureusement constante avec la machine génératrice [1].

Action physiologique du courant galvanique dans sa période d'état véritable de fermeture;

Par Dubois (de Berne) [2].

« Je me suis proposé de donner une réponse aux questions suivantes :

» 1° La même contraction musculaire (minima) se montre-t-elle toujours au même *voltage* ou à la même *intensité ?*

2° Quelle est l'influence de la *résistance propre du corps* sur l'action physiologique d'une fermeture de courant?

3° Quel est l'effet du *rhéostat en circuit principal* employé comme moyen de dosage de l'intensité ?

» Je règle le voltage et l'intensité au moyen du rhéostat en dérivation. Je mesure les *volts* à l'aide du condensateur et du galvanomètre balistique, les *milliampères* au moyen de l'électromètre capillaire de Lippman mis aux bornes d'une résistance partielle de 50 ohms, prise sur le rhéostat en circuit principal. Enfin, connaissant à chaque instant E et I, j'en déduis la résistance du circuit selon $R = \frac{E}{I}$.

» Les expériences, dont je ne cite que des exemples, ont été maintes fois répétées et ont toujours donné les mêmes résultats.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE

Volts.	Milliampères.	Effet.	Résistance en ohms.
13,58	0,05	Contraction minima	271 600
13,58	0,111	»	122 340
13,58	0,188	»	72 234
13,16	0,300	»	43 867
13,16	0,388	»	33 917
12,55	0,422	»	29 739
12,34	0,874	»	14 118

» Un coup d'œil jeté sur ces chiffres donne

---

(1) Travail fait au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure. Note présentée dans la séance du 5 juillet.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 94, séance du 12 juillet 1897.

la réponse à mes deux premières questions et démontre :

» 1° *Que l'effet physiologique dépend beaucoup plus du voltage que de l'intensité ;*

» 2° *Que la résistance propre du corps, dont dépend nécessairement l'intensité, n'a presque pas d'influence sur l'action physiologique d'une fermeture de courant.*

» La résistance du corps peut, par l'action du courant lui-même, tomber de 271600 à 72234, entraînant une élévation de l'intensité de 0,5, à 0,188 sans qu'on puisse baisser le voltage. Il faut artificiellement, par l'application de courants plus forts, abaisser encore plus la résistance pour obtenir la contraction minima à 13, 16, 12,55 et enfin 12,34 volts.

» Passons à la troisième question : *Quel est l'effet du rhéostat en circuit principal?*

» Le tableau suivant montre nettement l'effet de résistances rhéostatiques surnuméraires.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE

Résistance du corps.	Résistance rhéostatique.	Résistance totale.	Volts.	Milliampères.	Effet physiologique.
68472	0	68472	9,86	0,144	Contraction.
63512	100	63612	9,86	0,155	Pas de contraction !
48572	100	48672	10,27	0,211	Contraction.
48372	300	48672	10,27	0,211	Pas de contraction !
42650	300	42950	10,48	0,244	Contraction.
38898	500	39398	10,48	0,266	Pas de contraction !

» Cette expérience démontre :

» *Que des résistances rhéostatiques, intercalées dans le circuit principal, abolissent l'effet physiologique d'une fermeture de courant, alors même que ces résistances sont, par leur valeur ohmique, absolument négligeables vis-à-vis de la résistance du corps.* L'addition de 100 ohms, 200 ohms au rhéostat peut supprimer la contraction alors même que, par diminution de la résistance cutanée, l'intensité s'est accrue.

» J'ajoute que de nombreuses expériences, toutes concordantes, ont montré que cet effet affaiblisssant de résistances additionnelles n'est pas spécial aux rhéostats métalliques; *on retrouve les mêmes faits avec un rhéostat liquide impolarisable, avec un rhéostat de kaolin et de graphite, avec une résistance constituée par un trait au crayon sur verre dépoli.*

L'intercalation d'un solénoïde a un effet plus marqué encore que celle d'un rhéostat de même valeur ohmique, mais la différence n'est pas très grande.

» J'en conclus *que les résistances dites* non inductives *ont encore un coefficient de self-induction considérable, capable d'annuler l'effet physiologique, non seulement quand l'intensité reste la même, mais encore lorsqu'elle devient plus grande.*

» Admettant que la self-induction du rhéostat *prolonge la période d'état variable*, j'ai cherché à la découvrir par l'*insertion d'un conducteur aux bornes de la résistance rhéostatique additionnelle.*

» L'expérience a immédiatement confirmé l'exactitude de ces vues. Rien n'est plus facile que de *ramener*, par l'*interposition d'une clef au condensateur*, la contraction musculaire *abolie par la suppression d'une clef au rhéostat*. Cet effet antagoniste *de capacités* et de *résistances soi-disant non inductives*, est des plus nets, comme le montrent les quelques chiffres suivants :

TROISIÈME EXPÉRIENCE

Voltage.	Milliampères.	Résistance supprimant la contraction.	Capacité ramenant la contraction.
11,52	0,511	200 ohms	0,06 microf.
9,05	0,600	100 »	0,9 »
9,46	0,437	100 »	0,7 »
9,87	0,425	200 »	0,15 »
10,69	0,450	200 »	0,12 »

» J'ai été plus loin encore. J'ai supprimé par 600 ohms de rhéostat la contraction produite par 27,98 volts et 1,42 milliampère, et je l'ai ramenée par 0,0045 microfarad.

» L'interposition d'une grande capacité, de 1 microfarad, ne ramène pas seulement la contraction minima; elle supprime tout effet affaiblissant d'une résistance interposée; la contraction devient aussi forte que si, sous le

même voltage, la résistance du corps était seule interposée.

» Toutes les résistances rhéostatiques, dites *non inductives*, ont donc un coefficient de self-induction que l'interposition d'une capacité peut annuler.

» L'effet physiologique (contraction musculaire) dépend de E en fonctions de R_a, résistance apparente de self-induction.

» Le corps a une grande résistance ohmique, mais une résistance apparente presque négligeable : c'est pourquoi l'effet physiologique doit se mesurer au *voltmètre* et non au *galvanomètre*. »

Faits d'influence électrique par les tubes de Crookes;

Par Foveau de Courmelles [1].

« Examinant radioscopiquement un malade avec un fort tube Muret et une bobine de 0,30 m d'étincelle dont les condensateurs sont simplement recouverts de papier gris, les fils reliés à mon ampoule double précédemment décrite [2] étant libres à leurs extrémités opposées au voisinage de condensateurs, je constatai l'illumination de cette ampoule double. De la lumière stratifiée blanche les remplissait en quelque sorte et durait tout le temps de l'action du tube radioscopique. On ne pouvait attribuer cette production de lumière au voisinage des condensateurs de la bobine, car les courants de haute fréquence de M. d'Arsonval produits par cette même bobine, presque au contact des extrémités des mêmes fils polaires de l'ampoule double, ne produisaient aucune illumination; seul *le contact direct d'un fil* émanant de la bobine, des condensateurs de décharge ou du solénoïde de haute fréquence donnaient cette lumière stratifiée encore en quantité moindre. Si l'on relie à la fois en quantité le tube de Crookes et les condensateurs de décharge, la haute fréquence fonctionne seule pour une étincelle de décharge un peu longue; si l'on diminue celle-ci, on a une très faible lumière dans le tube, mais aucun phénomène d'influence dans les tubes voisins

» Les influences à distance de la bobine des condensateurs et des courants de haute fréquence devant être éliminées par ces faits eux-mêmes et par des expériences répétées, il faut admettre l'électrisation à distance des tubes de Crookes neutres par d'autres tubes en activité.

» Il ne s'agit pas non plus des phénomènes de luminescence des verres et cristaux, signalés par M. Radiguet [1], et qui consistent par l'action des rayons X, à produire une lumière blanche, brillante, immobile ou à peu près, se tenant surtout dans le voisinage des parois du verre.

» Ici, les parois sont souvent dépourvues de lumière, alors que l'ensemble du tube en paraît rempli; d'autre part, cette lumière, non brillante, généralement, est stratifiée, oscillant synchroniquement avec la lumière du tube. La différenciation entre ces deux genres de phénomènes peut se faire en approchant, du tube de Crookes en activité, diverses lampes à incandescence et des tubes à vide; la dissemblance de lumière, de matière en mouvement, s'accuse immédiatement très nette. Les phénomènes d'influence, quand ils se produisent dans notre ampoule double à même circuit gazeux, sont ici semblables à ce qui se passe dans l'une de ces parties, sous l'action directe du courant.

» Le tube actif a toujours été enveloppé de mérinos de coton noir de 1 mm à 2 mm d'épaisseur; de plus, l'obscurité a toujours été faite; cela pour ne pas être tenté d'attribuer les phénomènes obtenus à la réflexion de la lumière cathodique ou autre, dans le verre des ampoules influencées.

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 97, séance du 12 juillet 1897.

(2) *Comptes rendus*, 13 avril 1897.— *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 271, 1er mai 1897.

(1) *Comptes rendus*, 25 janvier 1897. — *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 277 et 418, 6 et 27 février 1897.

» J'ai varié et répété l'expérience sous diverses formes, mais en voici trois types avec des résultats légèrement différents :

» 1° Un tube Muret moyen fonctionne : deux petites ampoules sont dans son voisinage et s'illuminent. On fait varier la distance et la lumière due à l'influence croît ou décroît en raison inverse de cette distance. L'anode est la partie la plus agissante.

» L'expérience réussit jusqu'à une distance de 30 cm dans l'air ou seulement à 5 cm ou 6 cm à travers le bois ou le caoutchouc. La rapidité des vibrations du tremblement de la bobine augmente la production lumineuse.

» 2° Le même tube fonctionne, mais l'un quelconque des fils, l'anodique ou le cathodique à volonté, est très voisin des fils libres de deux ampoules non reliées entre elles, mais se communiquant en quelque sorte par les extrémités libres de fils se touchant. La distance entre le fil anodique et ces fils libres est amenée par tâtonnements à un minimum (2 cm ou 3 cm) pour lequel jaillit entre eux une étincelle. Cette déperdition d'électricité de l'ampoule active ne paraît pas diminuer sa lumière cathodique ; en revanche quel que soit le pôle du tube actif relié en quelque sorte au tube directement influencé, on a dans celui-ci de la lumière stratifiée mauve, très belle, mélangée de lumière cathodique.

» 3° Si l'on fait reposer sur le tube actif, par un point quelconque de sa surface de verre, un fil relié à un tube à vide, on produit dans celui-ci de la lumière violette. Le phénomène se produit encore le fil portant sur une épaisseur de bois de 2 cm à 3 cm. On ne perçoit avec le doigt aucune secousse, alors que le contact direct du tube actif est désagréable, voire douloureux.

» L'électricité qui s'écoule ainsi et agit à distance est donc assez faible.

» Selon les expériences, les colorations sont variables, blanche, mauve, violette et jaune verdâtre.

» L'action ne se produit que par un tube actif de force relativement très considérable par rapport aux tubes influencés.

» L'étude de l'influence des tubes à vide sur les corps électrisés, leur facilité de décharge depuis longtemps démontrée, doit donc se compléter de ces faits inverses d'électrisation à distance.

» L'action physiologique des rayons X, également très variable : insolation, épilation momentanée sans la moindre inflammation, ainsi que j'en ai constaté un cas, est probablement du même domaine de l'influence électrique : le patient, placé en une sorte d'*auto-conduction* à courants de décharges relativement plus lents que lorsqu'on opère avec des condensateurs (professeur d'Arsonval) et par suite perçus par l'organisme. »

Sur la complexité du faisceau des rayons X ;

Par A. IMBERT et H. BERTIN-SANS [1]

« Tous ceux qui se sont occupés de radiographie savent combien peut être différente la valeur de divers tubes de même forme, fournis par le même constructeur, et combien aussi est variable la valeur d'un même tube, depuis le moment où il commence à émettre des rayons X, jusqu'à celui où il devient résistant.

» A l'effet d'apprécier rapidement et assez exactement pour les besoins de la pratique la valeur actuelle d'un tube à vide et d'éviter les insuccès relatifs, nous avons fait construire par MM. Ducretet et Lejeune un photomètre spécial : il consiste en une boîte en bois, munie de deux œilletons, contenant un miroir convenablement orienté, et dont une portion de paroi est constituée par un écran au platino-cyanure de baryum au-dessus duquel sont disposés des fils de plomb également espacés, surmontés eux-mêmes d'un prisme en aluminium. L'intensité du faisceau de rayons X émis est ainsi mesurée approximativement par le nombre de fils de plomb

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 99, séance du 12 juillet.

dont l'ombre peut être aperçue, toutes choses égales d'ailleurs, sur l'écran fluorescent.

» Or l'exploration, au moyen de ce photomètre, d'un tube à vide, aux divers moments de son fonctionnement, montre que, s'il y a une dégradation rapide de la fluorescence, lorsque le tube commence à émettre des rayons X, par contre, lorsque le tube, devenu plus puissant, tend à devenir résistant, l'illumination de l'écran est sensiblement uniforme malgré les notables différences d'épaisseur du prisme en aluminium correspondant aux diverses régions de l'écran fluorescent.

» L'aspect du phénomène nous a conduits à penser que, à ce moment de son fonctionnement, le tube émettait en quantité assez considérable de nouveaux rayons qui traversent l'aluminium presque sans être absorbés. L'interposition, entre le tube et le photomètre, d'une épaisse lame de verre diminue à peine l'intensité de la fluorescence et rend plus uniforme encore l'illumination de l'écran dans toute son étendue.

» Cette hypothèse de l'apparition, en quantité considérable, ou tout au moins plus considérable, de rayons capables de traverser les corps qui présentent une opacité relative à d'autres rayons X est confirmée par les expériences suivantes :

» Lorsqu'on pratique la radioscopie de la main, par exemple, avec un tube qui tend à devenir résistant, et que l'on interpose une lame de verre épaisse (2 cm environ), on n'aperçoit que très difficilement la silhouette de la main et du squelette ; la chair et les os sont également traversés, et l'intensité de la fluorescence n'est pas sensiblement diminuée aux points correspondants à la partie du corps interposé.

» Par contre, si l'on s'éloigne du tube, sans interposer de lame de verre, de manière à diminuer l'intensité du faisceau qui excite l'écran et à obtenir une fluorescence d'intensité égale à celle que l'on observait dans l'expérience précédente après interposition de la lame de verre ; puis, que l'on pratique de nouveau la radioscopie de la main, celle-ci projette sur l'écran une ombre foncée, dans laquelle, il est vrai, on distingue difficilement la silhouette du squelette, mais qui révèle, du moins très nettement, l'existence et la forme du corps opaque interposé.

» La comparaison de ces divers résultats conduit à croire que la constitution du faisceau de rayons X émis par un tube à vide, dont plusieurs observateurs ont montré la complexité, est variable aux divers moments du fonctionnement du tube et que, quand celui-ci tend à devenir résistant, il y a tout au moins augmentation d'intensité, sinon apparition de rayons capables de traverser, sans absorption notable, des corps qui sont relativement opaques pour les rayons émis les premiers par le tube.

» Une conclusion pratique découle également de ces faits, à savoir : d'une manière générale et toute question d'intensité réservée, pour obtenir une bonne radiographie, c'est-à-dire un cliché présentant beaucoup d'opposition, il faut se servir d'un tube qui est encore loin de devenir résistant ; par contre, pour pratiquer la radioscopie d'une région épaisse du corps, il y aura avantage à utiliser le tube à vide au moment où les rayons X, moins absorbables, sont émis en quantité suffisante.

» Le photomètre décrit plus haut permet d'apprécier rapidement l'état du tube et sa valeur actuelle pour la radiographie ou pour la radioscopie. »

Détermination des constantes diélectriques des dissolutions salines par la méthode électrométrique ;

Par F.-J. SMALE (1).

L'auteur effectue ses mesures au moyen de l'électromètre qu'il a imaginé (2). Pour éviter l'influence de la polarisation, l'électromètre est chargé par des courants alternatifs de

(1) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 625-628.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 425, 30 mai 1896.

10^6 à 10^7 alternances par seconde, obtenus par un transformateur de Tesla. L'un des électromètres est rempli avec de l'eau pure, l'autre avec la dissolution. Les nombres trouvés figurent dans le tableau ci-dessous.

Eau = 1,000.

Dans 1 mol. H^2O mol.	K Cl.	H Cl.	Cu SO^4.	Mannite et acide borique.
0,001	1,013	0,990		
0,002	1,018	1,033	1,012	
0,005	1,034	1,064	1,017	
0,008	1,070	1,090	1,050	
0,010	1,113	1,126	1,085	
0,030	1,160			
0,020			1,128	
0,050			1,155	
0,333				1,007
0,666				1,019

La constante diélectrique des dissolutions conductrices croît donc avec la concentration; mais cette augmentation n'est nullement proportionnelle à la conductibilité. M. L.

Détermination des constantes diélectriques des corps solides;

Par H. STARKE [1].

La méthode employée par l'auteur consiste à trouver un mélange liquide qui ait la même constante diélectrique que le solide. Ce mélange liquide se trouvant entre les armatures d'un condensateur, la capacité de celui-ci ne change pas quand on interpose le solide entre les armatures. La détermination de la capacité se fait à l'aide de l'appareil de Nernst [2]. Le condensateur est rempli d'abord d'un liquide dont la constante diélectrique est k et l'appareil est réglé de manière que le téléphone donne le minimum de bruit. En introduisant la lame de solide entre les armatures, on rompt l'équilibre : d'après le sens dans lequel il faut déplacer la lame de verre du condensateur variable pour ramener l'équilibre on voit si la constante diélectrique du solide est plus grande ou plus petite que celle du liquide; suivant le cas, on ajoute à ce dernier un liquide dont la constante diélectrique est plus grande ou plus petite.

Le condensateur à liquide est construit comme celui de Nernst, avec un petit perfectionnement destiné à assurer une distance constante aux armatures. Le couvercle, au lieu d'être entièrement en ébonite, est formé d'un disque central en ébonite enchâssé dans un anneau de laiton, de forme légèrement conique, qui s'emboîte exactement dans le bord supérieur du condensateur; grâce à cette disposition, l'armature intérieure reprend toujours rigoureusement la même position.

Comme liquides on peut employer tous ceux qui sont de parfaits isolants et qui se mélangent en toutes proportions. Pour la détermination des constantes diélectriques inférieures à 4,2 conviennent le benzol, le xylol, la benzine, comme liquide de moindre pouvoir diélectrique, l'éther pour l'autre; au delà de 4,2, un mélange de benzol et de chlorure d'éthylène. Le condensateur est étalonné avec du benzol cristallisé deux fois et distillé sur du sodium : $k_t = 2,2582 - 0,00104(t - 15)$ ou avec de l'éther, plusieurs fois lavé à l'eau, séché sur du sodium et distillé ($k_t = 4,4150 - 0,01857 (t - 15)$).

Quand on a obtenu deux valeurs de la constante diélectrique du mélange liquide qui comprennent entre elles celle du solide, on peut calculer celle-ci par interpolation pourvu que le solide touche de part et d'autre les armatures et que ses faces latérales leur soient normales. Lorsque le condensateur a une certaine surface, l'introduction du solide ne modifie pas sensiblement la répartition des lignes de force. Cependant en pratique ce calcul d'interpolation a, en général, peu d'intérêt parce qu'il oblige à tenir compte de la forme du solide, c'est-à-dire fait perdre le principal avantage de la méthode.

Il faut remarquer que la capacité du condensateur n'est pas tout à fait indépendante de la hauteur à laquelle le liquide s'élève dans la cuve, hauteur qui varie par l'introduction

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 629-641, 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 372, 23 mai 1896.

du corps solide. En réalité la variation de la capacité est très faible, d'autant plus faible que le niveau du liquide est plus élevé; du reste, il suffit, après l'introduction du solide, d'enlever avec une pipette un peu du liquide pour ramener le niveau à sa hauteur primitive.

Il est essentiel que le liquide soit parfaitement isolant : car ici la méthode de compensation de Nernst ne serait applicable que si le liquide et le solide avaient même conductibilité. Pour cette raison on ne peut employer l'alcool et l'aniline qui seraient commodes à cause de leur grand pouvoir diélectrique; le chlorure d'éthylène doit être assez fréquemment redistillé, parce qu'au bout d'un certain temps il devient notablement conducteur, sans doute en absorbant des traces d'eau.

Comme les liquides dont on dispose ont des constantes diélectriques comprises entre 2,2 et 10 environ, la méthode est directement applicable aux solides dont la constante est comprise entre ces limites; par interpolation, on peut dépasser ces limites, au moins pour une détermination approximative.

RÉSULTATS NUMÉRIQUES

Verres d'Iéna.	Indice pour la raie D.	Constante diélectrique.
Borat-crown	1,50936	5,48
Borosilicat-crown	1,51180	6,20
Phosphat-crown	1,52090	6,39
Borat-flint	1,60305	7,66
Baryt-crown	1,57519	7,81
Baryt-flint	1,60284	8,28
Baryt-crown pesant	1,60899	8,40
Silicat-crown	1,51883	7,20
Crown à haute dispersion	1,52333	9,13
Demi-flint	1,6129	7,77

Aucune relation entre l'indice et la constante diélectrique.

Porcelaine de Berlin : K = 5,73, 6,61, 6,84.

Bois.	Hêtre rouge.		Chêne.	
	Parallèle.	Perpendiculaire.	Parallèle.	Perpendiculaire aux fibres.
Sans avoir été chauffé	4,83	4,73	4,22	6,84
Chauffé à 130° pendant deux heures et refroidi à l'air	2,82	4,41	2,66	3,99
Chauffé à 170° pendant deux heures et refroidi sous le benzol	2,51	3,63	2,46	2,64

Substances diverses.

Le soufre cristallisé par fusion a un pouvoir diélectrique très variable (de 3,34 à 4,14), ce qui correspond sans doute à ses transformations diverses.

Ébonite	2,80	
Alun de potasse	6,67	
Fluorine du Harz	6,92	
Sel gemme de Stassfurt	6,29	
Sylvine de Stassfurt	4,94	
Quartz (indép. de la direction)	4,73	
Spath d'Islande	8,25	perpendiculaire.
	8,54	parallèle à l'axe.
Émeraude de Nertchkinsk	7,85	»
	7,44	»
Gypse de Montmartre	5,04	
Mica	5,80	
(Diverses provenances)	5,84	
	6,62	

M. L.

Action du champ électrique sur une lampe à incandescence;

Par W. Hoffmann [1].

Lorsqu'une lampe à incandescence en activité se trouve au voisinage d'un tube à décharges très raréfié, les décharges exercent une action sur le filament de la lampe. Si les décharges sont lentes, le filament oscille : si les décharges sont plus rapides, il prend une position fixe; il tend à conserver la même position relative par rapport au tube quand on éloigne ou rapproche la lampe de ce dernier.

D'une manière générale, le filament se met ainsi à osciller quand se produisent dans son voisinage des charges relativement lentes, auxquelles succèdent des décharges rapides. Les conditions expérimentales les plus simples sont les suivantes :

Un disque de métal isolé de 35 cm de diamètre communique avec le pôle positif de la machine à influence, en dérivation sur l'étincelle; le pôle négatif est relié au sol. En tournant lentement la machine, on charge progressivement le disque, jusqu'à ce que

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 642-652.

l'étincelle éclate, ce qui provoque une décharge brusque. Pendant la charge, le filament de la lampe demeure en repos ; mais au moment de la décharge, il est attiré vers la paroi de la lampe du côté du disque et revient ensuite au repos après quelques oscillations, jusqu'à ce qu'une nouvelle décharge lui communique une nouvelle impulsion. Si on interpose entre le disque et la lampe un écran métallique relié ou non au sol, le filament reste en repos ; l'action est donc d'ordre électrostatique.

Le courant qui traverse le filament ne joue qu'un rôle secondaire, car on peut le diminuer ou même le supprimer sans que l'attraction, quoique affaiblie, cesse de se montrer nettement.

Un filament de platine disposé comme celui d'une lampe est attiré, quand il n'est traversé par aucun courant, pendant que le disque se charge, aussi bien quand il se trouve dans l'air libre que s'il est dans une ampoule vide. Si ce même filament est parcouru par un courant qui le porte à l'incandescence, l'attraction est beaucoup plus faible ; le filament incandescent laisse perdre la charge que lui donne par influence le disque ; cette charge, de signe contraire à celle du disque, se rend sur la paroi de la lampe et contrarie l'attraction exercée par le disque. Cette déperdition est *bipolaire*, car il est indifférent au résultat de l'expérience que le disque soit chargé positivement ou négativement.

Lorsqu'on diminue la pression dans la lampe, l'attraction du filament devient moindre, et décroît surtout rapidement quand le filament est en même temps maintenu à l'incandescence. La raréfaction de l'air paraît favoriser la déperdition de l'électricité, comme l'élévation de température.

Si on raréfie de plus en plus l'air dans la lampe, l'attraction disparaît complètement pendant la charge : mais, au moment de chaque décharge, le fil est projeté contre la paroi. L'intensité de l'attraction croît d'abord quand la pression diminue, puis atteint un maximum.

L'expérience prouve que le disque chargé appelle par influence sur le filament incandescent une charge de signe contraire à la sienne, tandis que l'autre électricité s'écoule dans le sol. Par suite du vide qui règne dans la lampe et de la température élevée du filament, l'électricité développée sur le filament tend à se rapprocher du corps influençant et s'amasse sur la paroi de la lampe : tant que la plaque se charge, le fil devient de moins en moins électrisé, la paroi chargée empêchant l'influence de se produire. Quand le disque se décharge, l'électricité de la paroi ne peut que lentement se réunir à celle du filament et celui-ci est attiré par la paroi. Si la réunion se faisait instantanément le filament resterait en repos ; c'est en effet ce qu'on observe quand le disque se décharge lentement à travers une corde mouillée : l'électricité de la paroi a le temps de se réunir avec celle du filament et celui-ci reste immobile.

D'après ce qui précède la lampe à incandescence peut servir à étudier la marche des décharges rapides.

En mettant la lampe dans le circuit d'un tube raréfié, on trouve que le filament n'oscille pas depuis la cathode jusqu'au pôle négatif de la source, qu'il oscille faiblement quand la région obscure cathodique n'est pas nette et alors ses oscillations ne concordent pas avec celle des décharges. Au contraire, les oscillations sont fortes et coïncident avec celles des décharges près du pôle positif de la source et du fil qui conduit de la source à l'anode, à travers l'étincelle : elles sont provoquées par les décharges dans le gaz même jusqu'à la région obscure exclusivement. Ces faits sont d'accord avec la manière de voir de Spottiswoode et de Wiedemann et Ebert d'après laquelle la région cathodique est le siège de mouvements permanents.

Par le même procédé, on peut étudier la décharge de la bobine d'induction. La décharge secondaire consiste dans une chute

rapide de potentiel, suivie d'oscillations qui ne jouent qu'un rôle accessoire. Si les extrémités du circuit secondaire sont reliées aux armatures d'un condensateur à air, on trouve d'un côté une chute rapide du potentiel, de l'autre des oscillations régulières : entre les deux armatures se trouve un plan où le filament reste en repos.

Lorsque les décharges se succèdent de plus en plus rapidement, les oscillations du filament deviennent aussi de plus en plus rapides, jusqu'à ce que son élasticité ne lui permette plus de suivre le rhythme des décharges.

En photographiant simultanément les décharges et le filament de la lampe, on peut se convaincre que les décharges et les oscillations sont synchrones.

Sous l'influence des oscillations très rapides, le filament cesse de vibrer, mais prend une position fixe et reste rigide ; en même temps, il suit les mouvements qu'on communique au disque : c'est ce qu'on observe partout où se produisent des oscillations très rapides, au voisinage des appareils de Hertz ou de Lecher, par exemple. Il ne semble donc pas que la rigidité observée soit en rapport avec les forces électrostatiques; de fait, l'effet est amoindri par l'interposition d'écrans métalliques, mais n'est pas supprimé. Le phénomène peut s'expliquer en admettant avec E. Wiedemann et Ebert, que sous l'influence d'oscillations rapides du potentiel, il se produit à la surface de séparation de deux milieux dont l'un est un gaz raréfié, des rayons cathodiques ou d'autres radiations analogues. Dans le cas actuel, il se produirait dans la lampe des rayons cathodiques, qui provoqueraient la déperdition de la charge répandue sur le filament incandescent. L'interposition d'une lame métallique n'empêcherait pas la formation des rayons cathodiques par suite des effets de résonance dans cette plaque. Le filament suit les mouvements du disque qui agit sur lui, parce que ces mouvements entraînent un changement dans la répartition de l'électricité sur la paroi de la lampe. Si, par exemple, on éloigne le disque il faut qu'il se produise une réunion entre l'électricité de la paroi et celle du filament, d'où résulte une attraction, c'est-à-dire un mouvement dans le sens où on a déplacé le disque. Inversement, si on approche le disque, le filament sera repoussé ; il suit encore le mouvement du disque. M. L.

Clichés obtenus par les rayons de Rœntgen dans une chambre sans objectif;

Par P. Czermak (1).

La chambre est formée par une boîte recouverte de plomb, qui porte une ouverture d'un diamètre supérieur à 1 mm : les clichés sont naturellement assez peu nets ; cependant leur apparence fournit des indications sur la manière dont se produisent les rayons.

L'un des tubes 1 avait une cathode concave et une anode en forme d'anneau; le faisceau cathodique projette sur le fond du tube une tache fluorescente ronde assez régulière. La tache est bien venue sur le cliché : les contours du tube sont faibles. L'anneau de l'anode était assez grand, pour que le faisceau cathodique pût passer presque en entier dans la cavité, sans rencontrer l'anneau, sauf dans la partie inférieure; seule cette partie est bien venue, les autres sont très faibles.

Le tube 2 avait une cathode d'aluminium plane, qui émettait un faisceau divergent, rencontrant tout l'anneau anodique ; aussi l'ombre de ce dernier était nettement visible sur le cliché.

D'autres tubes possédaient une lame de platine anticathodique; l'intensité des rayons est alors beaucoup plus forte. Le foyer de la cathode tombe dans le plan de la lame : lors du développement, on aperçoit d'abord une tache ronde très noire, qui s'agrandit peu à peu jusqu'à ce qu'apparaisse l'image carrée de la lame ; plus tard seulement viennent les

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p 760-767, 1897.

contours du tube, d'abord ceux qui avoisinent la cathode, puis ceux qui avoisinent l'anode. Une partie des rayons cathodiques rencontraient aussi au delà de la plaque l'anode d'aluminium : cette anode s'imprime aussi sur le cliché et il est visible que l'aluminium émet des rayons X plus intenses que ceux du verre, mais moins intenses que ceux du platine.

Les clichés précédents étaient obtenus avec une pose de 30 minutes, le trou de la chambre étant fermé par une plaque d'aluminium, transparente seulement pour les rayons X. Lorsque la plaque est enlevée, la fluorescence verte agit aussi sur le cliché et très rapidement : la pose est alors de 6 minutes seulement. Au développement c'est encore le foyer de la cathode qui apparaît en premier lieu, qui par conséquent avait émis les rayons les plus intenses : ensuite apparaissent les parois du tube et on voit que toutes les parties qui montraient la fluorescence verte se sont photographiées, beaucoup plus que sur les épreuves précédentes. La fluorescence agit aussi beaucoup plus énergiquement que les rayons X pour lesquels la pose est trop courte.

Les clichés obtenus avec la chambre fermée représentent ce que verrait un œil sensible aux rayons X, avec une pupille très étroite; cet œil verrait avec un éclat particulier le foyer de la cathode. Si, comme quelques-uns l'ont prétendu, la rétine était sensible aux rayons de Rœntgen, on verrait comme cet œil, en se servant de lunettes de plomb percées d'un trou fin, mais seulement un tube émettant les rayons; comme ces rayons ne se réfléchissent pas en quantité appréciable, il serait impossible toujours de voir un objet éclairé indirectement.

Cependant, après une longue pose, l'auteur a obtenu la photographie de plaques polies d'étain, d'acier, de zinc placées au voisinage immédiat du tube, mais sans apparence de réflexion régulière.

La chambre peut servir aussi à rechercher la réfraction des rayons X : elle porte alors trois trous, devant deux desquels se trouvent deux prismes orientés de la même manière et devant le troisième un prisme orienté en sens contraire. D'après la déviation observée, l'indice de réfraction serait environ $n = 1 - 0{,}002$. M. L.

Oscillations électriques pendant la charge d'un condensateur; application à la mesure des self-inductions.

Par U. Seiler [1].

Comme dans toutes les expériences sur le même objet, la partie essentielle de l'appareil est l'interrupteur; il est constitué ici par un pendule de Helmholtz. Avant la chute du pendule, la pile de charge est en court circuit; ce court circuit est rompu par le pendule, et le condensateur se charge jusqu'à ce que, continuant sa course, le pendule heurte un nouveau levier et rompt la communication entre la pile et le condensateur; la charge que possède alors ce dernier est mesurée au moyen d'un galvanomètre balistique. La différence essentielle entre cette disposition expérimentale et celle des précédents expérimentateurs consiste en ce fait que le pendule rompt les contacts, au lieu de les établir; la durée de charge est l'intervalle compris entre deux ruptures et est, partant, mieux définie qu'elle ne l'était par la durée d'un contact, dont les limites sont toujours assez indécises. L'intervalle de temps en question est calculé d'après le développement en série, qui donne le temps t correspondant à une élongation donnée φ du pendule; en général, cette série

$$t = \frac{r\mathrm{S}}{\sqrt{2\pi}}\left(1 + \frac{1}{2}\cos\alpha + \frac{3}{8}\cos^2\alpha + \dots + \frac{1}{2}\frac{\varphi^2}{1.2.3} + \frac{1}{4}\frac{\varphi^4}{1.2.3.4.5} + \dots\right),$$

où r désigne la période du pendule α l'amplitude maxima des oscillations, S la distance linéaire des deux contacts, φ leur dis-

(1) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 30-54, 1897.

tance angulaire, converge assez rapidement pour qu'il soit suffisant de prendre les deux premiers termes.

Le condensateur est un condensateur de Carpentier, à lame de mica, divisé en 0,5, 0,2, 0,2, 0,1 microfarad. Le circuit comprend une bobine, dont la self-induction est grande, pour qu'on puisse négliger la self-induction des autres parties du circuit; le coefficient de self-induction est calculé d'après les formules de Stéfan.

Lorsque le circuit de charge ne renferme pas d'étincelle, la courbe, qui a pour abscisses les distances des deux contacts et pour ordonnées les charges correspondantes, présente la forme d'une sinusoïde dont l'ordonnée maxima décroît progressivement d'une période à l'autre.

Pour obtenir la durée de la période, on détermine deux passages par la charge normale, autrement dit deux ordonnées maxima de la courbe; le nombre de périodes comprises entre ces deux ordonnées maxima est évalué d'après le nombre de changements de signe que subit la charge, lorsqu'on augmente peu à peu la distance des contacts. En intercalant des capacités de différentes grandeurs dans le circuit, on vérifie que la période est proportionnelle à la racine carrée de la capacité.

La self-induction, la capacité et la période sont liées par la relation :

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C}.$$

Si on dispose donc d'une capacité C connue en valeur absolue, on peut déterminer T comme il vient d'être dit et par suite calculer L d'après la relation ci-dessus. Les nombres trouvés par cette méthode, pour différentes bobines concordent d'une manière satisfaisante avec les nombres calculés; les écarts ne dépassent pas 0,004.

La résistance ohmique R du circuit de charge n'influe pas sur la durée ds la période mais seulement sur l'amortissement des oscillations. Le décrément logarithmique δ_1 serait d'après la théorie, donné par la formule :

$$\delta_1 = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}},$$

mais les nombres calculés ainsi et ceux que donne l'expérience présentent des écarts de beaucoup supérieurs aux erreurs d'observation. D'après Schiller, le décrément δ est égal à :

$$\delta = \pi \sqrt{\frac{C}{L}} \left(R + (\alpha + \alpha') - \frac{L}{c + C} \right).$$

c étant la capacité de la bobine, α la conductibilité de la couche isolante comprise entre les spires de fil, α' la conductibilité entre les armatures du condensateur. En employant cette formule, les écarts deviennent moindres.

On peut placer la bobine de manière qu'elle soit au début comprise dans le circuit qui ferme la pile sur elle-même, en dehors du condensateur. Au moment où ce circuit est rompu, le condensateur se charge; mais, en même temps, et à cause de la grande self-induction de la bobine, il se produit une f. é. m. d'induction considérable; laquelle provoque des oscillations dont l'amplitude est d'ailleurs beaucoup plus grande que celle des oscillations du courant de charge et qui se superposent à celles-ci : seulement elles ont avec ces dernières une différence de phase de 1/4 de période; l'oscillation résultante n'a plus la forme sinusoïdale. Mais comme l'amplitude des oscillations induites est beaucoup plus grande (environ 87 fois l'autre), on obtient ces oscillations peu déformées.

Dans certains cas, on observe alors que la différence de potentiel, immédiatement après les maxima (en valeur absolue), éprouve une chute rapide. Cette discontinuité est apparente, surtout dans les premières oscillations, puis elle diminue et les oscillations reprennent peu à peu la forme sinusoïdale. Il semble qu'on doive chercher la cause de ces discontinuités dans l'étincelle qui se produit

au moment de la rupture du circuit : en fait, les discontinuités apparaissent précisément dans les mêmes circonstances que l'étincelle; potentiel de charge considérable, résistance, capacité et self-induction relativement faibles.

M. L.

Influence des secousses mécaniques et du chauffage sur l'aimantation ;

Par C. FROMME [1].

Les traitements mécaniques ou thermiques dont il s'agit ont été toujours effectués dans un champ magnétique d'intensité nulle. On laisse tomber sur une surface horizontale plus ou moins dure le fil ou le barreau, tenu d'abord horizontalement à une faible hauteur dans la direction perpendiculaire au méridien magnétique; ou encore on le jette, on le heurte contre cette surface. S'il s'agit d'une flexion, le fil est plié à la main; d'une torsion, on se sert d'un appareil de torsion. Pour chauffer les échantillons, on les passe dans la flamme d'un bec Bunsen; et on les laisse se refroidir à l'air libre. Tous les fils et barreaux sont portés à l'incandescence et ensuite refroidis lentement jusqu'à la température de la salle : en général, les forces magnétisantes sont ramenées lentement à zéro.

Pour déterminer l'état magnétique du corps qui a subi un des traitements mentionnés, on le soumet à une force magnétisante *faible* et on mesure le moment magnétique induit et aussi le moment permanent dans certains cas Lorsque l'échantillon a déjà été aimanté et a perdu une partie de son aimantation à la suite du traitement qu'il a subi, la force magnétisante agit en général dans le sens de la première aimantation et augmente le moment permanent. Cette augmentation varie avec la nature du traitement : il en est de même de l'augmentation qu'éprouve le moment temporaire, mais dans ce dernier cas les différences sont beaucoup moins caractéristiques. Les mesures de ces moments s'effectuent au moyen d'un magnétomètre, en plaçant les barreaux dans la seconde position principale de Gauss.

Comme il est déjà connu, les secousses mécaniques produisent sur un aimant permanent une diminution du moment magnétique qui croît avec la fréquence et l'intensité des secousses. Si ensuite on fait agir une force magnétisante faible dans la direction de l'aimantation primitive, on observe une augmentation du moment permanent. Cette augmentation est d'abord d'autant plus grande que la perte a été plus considérable : elle atteint un maximum et finit par décroître quand la perte primitive devient très grande. Pour une même valeur de la perte, l'augmentation est la plus grande quand la perte résulte de l'action d'une force magnétisante de sens contraire à l'aimantation, la plus petite quand la force magnétisante a été brusquement ramenée à o et prend une valeur intermédiaire quand la perte est due à des secousses mécaniques.

Les barreaux d'acier et les faisceaux de fils de fer doux, fins, se comportent un peu différemment des barreaux de fer.

Dans les premiers, l'augmentation conserve le maximum qu'elle a atteint jusqu'à des valeurs très grandes de la perte primitive, tant que la force magnétisante reste petite.

Tant que la perte reste au-dessous d'une certaine limite, l'augmentation de moment sous l'action de la force magnétisante d'épreuve est la même, que la perte provienne des secousses mécaniques ou du chauffage. Mais au delà de cette limite, l'augmentation est notablement plus grande quand l'échantillon a été chauffé ; la différence est d'autant plus marquée que la force d'épreuve est plus petite. Une force magnétisante de sens contraire affaiblit aussi plus le moment réduit par le chauffage que le moment réduit par les secousses.

Lorsqu'un barreau est soumis à des secousses mécaniques, il est à peu près impossible d'éviter de légères déformations, en par-

---

[1] *Wied Ann.* t. LXI, p. 55; 1897.

ticulier des flexions. Mais l'influence de ces déformations, étudiée pour elles-mêmes, se montre toute différente de celle des secousses; on ne peut donc attribuer l'action de ces dernières aux déformations qui les accompagnent Des flexions rapides, comme celles qui résultent des vibrations transversales, exercent une action du même genre, mais différant par la grandeur.

Si un barreau a été en apparence amené à un moment nul par un courant agissant en sens contraire de l'aimantation primitive, les secousses y font réapparaître un moment qui croît d'abord avec l'intensité des secousses, atteint un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro. En chauffant le barreau, on obtient des résultats analogues.

Un barreau, qu'on a désaimanté en le portant à l'incandescence, est soumis à une force magnétisante après avoir été secoué, plié, tordu, chauffé, ou après avoir vibré transversalement. Dans chacun des cas, il reçoit un moment moindre que s'il a été aimanté immédiatement après le premier recuit; la diminution provoquée par les secousses ou par les vibrations est particulièrement grande (les 5/6 du moment total).

Si, dans les mêmes conditions, on emploie une force magnétisante relativement intense, le moment temporaire est plus grand dans le barreau secoué que dans le barreau simplement réduit : dans les champs très intenses, il y a égalité, la différence diminuant à mesure qu'on approche de la saturation. Les vibrations ont à peu près le même effet que les secousses. La flexion comme la torsion diminue le momemt temporaire pour toutes les forces magnétisantes, et aussi, dans une proportion moindre, le moment permanent : la diminution devient moindre à mesure que la force magnétisante est plus considérable. Après le chauffage, le moment temporaire est constamment plus petit : le moment permanent d'abord plus petit devient notablement plus grand pour les forces magnétisantes intenses.

L'action des champs alternatifs diminuant progressivement jusqu'à zéro est comparable aux actions mécaniques, en ce qu'elle n'amène pas les barreaux dans l'état où ils se trouvent, après avoir été recuits.

La manière dont les secousses sont réalisées n'est pas indifférente pour les résultats. Lorsque le barreau est heurté contre une surface dure, l'augmentation du moment sous l'action de la force d'épreuve atteint sa valeur maxima pour une perte moindre que dans le cas où le barreau a été heurté seulement contre une surface moins dure : la différence est d'autant plus grande que la force d'épreuve est plus petite.

Les modifications provoquées dans le fer et l'acier par les secousses paraissent être seulement d'ordre magnétique, et non d'ordre mécanique. C'est ce que du moins indiquent les circonstances suivantes : 1° les moments magnétiques sont les mêmes dans les champs intenses, que l'échantillon ait été secoué ou non; 2° l'analogie des effets produits par ces traitements avec ceux que produisent les courants alternatifs; 3° l'affaiblissement d'un moment permanent considérable sous l'action d'un courant de sens contraire est le même, que le barreau ait été secoué ou non. L'effet des secousses est d'ailleurs le même, qu'elles aient été communiquées au barreau avant ou après la forte aimantation. Elles agissent seulement sur l'arrangement des molécules magnétiques et provoquent formation de groupes dont la forme peut être d'ailleurs très variée. Les forces magnétisantes de faible intensité ne changent pas essentiellement l'état de ces groupes; mais une force intense les réduit et permet par suite de caractériser plus facilement un changement d'état mécanique; comme ceux que provoquent le chauffage, la flexion et la torsion.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Manuel pratique du conducteur d'automobile, par Pierre Guédon et Yves Guédon, avec une lettre-préface de M. Emile Gautier. — Un vol. in-8° de IV-316 pages, avec 152 figures dans le texte. Paris 1897. — *J. Fritsch*, éditeur.

« Une nouvelle religion est née — la religion de l'automobilisme, » dit avec raison M. Emile Gautier dans la préface de cet ouvrage.

C'est bien, en effet, une véritable religion ; elle a ses fidèles et même ses fanatiques ; elle a éprouvé le besoin d'un langage spécial — latin pour les profanes — ; on ne parle que de chauffeurs et de chaufferettes ; à peine les fiacres automobiles sont-ils nés en espérance que leurs cochers sont déjà baptisés du nom de *moblots ;* comme toute religion elle est légèrement révolutionnaire au début, menace des usages consacrés, des intérêts établis et, d'un autre côté, fait naître de légitimes espérances de progrès parmi ses adeptes ; il faut regarder en arrière et mesurer l'étendue des progrès réalisés par l'avènement des chemins de fer pour prévoir les modifications profondes que la généralisation de ce mode de transport amènera dans nos mœurs et dans notre industrie.

C'est le catéchisme de cette religion, dont ils étudient les trois bases — la vapeur, le pétrole et l'électricité — que viennent de publier MM. Pierre et Yves Guédon.

Ils commencent par classer les voitures automobiles actuelles dans les trois grandes classes ci-dessus désignées et par exposer quelques considérations générales sur les voitures à pétrole et à vapeur :

« L'opinion de M. Marcel Deprez, disent-ils, est, on le sait, entièrement favorable aux moteurs à vapeur, dans leur application aux voitures automobiles, — et dans sa conférence du 12 janvier 1897 à l'Automobile-Club, le savant professeur prédit à bref délai aux voitures à vapeur une revanche éclatante sur celles à pétrole. Comme pour justifier cette assertion, on a vu tout récemment le tracteur à vapeur de MM. de Dion et Bouton, conduit par M. de Chasseloup-Laubat, dans la course de Nice-Marseille-Monte-Carlo, arriver bon premier au but, battant haut la main les meilleures parmi les voitures à pétrole. »

Aussi commencent-ils par l'étude des systèmes à vapeur ; ils décrivent successivement les voitures de Dion et Bouton, Serpollet, Weidknecht, Bollée, Le Blant, Scotte, et la bicyclette à vapeur de M. Dalifol ; ce chapitre est terminé par un exposé des avantages de la détente et du système compound pour les moteurs des voitures automobiles, et par une étude sur le calcul de l'effort de la puissance d'un moteur.

Dans un chapitre suivant, ils décrivent le système de tramway à gaz d'éclairage de Lührig, employé à Dresde et essayé à Paris, bien que ce système n'ait été jusqu'à présent employé que pour la traction des voitures de tramways, car il est susceptible d'être appliqué à la traction des voitures automobiles et il est même fortement question de construire, à Paris, des fiacres à gaz.

La troisième partie est consacrée aux moteurs à essence de pétrole. Les auteurs étudient successivement le moteur Phœnix-Daimler et son application aux voitures Panhard et Levassor, puis la voiturette Léon Bollée, le tricycle à pétrole de MM. de Dion et Bouton, la voiture Daniel Augé, l'avant-train moteur Prétot, les voitures Peugeot, Gautier-Werhlé, Léo avec moteur Pygmée, Mors, Georges Richard, Roger et C° et les voitures de la Maison parisienne.

La quatrième partie, consacrée aux voitures électriques, est des plus maigres ; on n'y trouve que la description des voitures de M. Darracq et de M. Kriéger, qui sont, il est vrai, parmi les meilleures. Nous ne pouvons que regretter cette concision, car nous sommes fermement convaincus que l'avenir, pour la traction des fiacres tout au moins, appartient à l'électricité.

L'ordre suivi dans la rédaction est toujours le même et très rationnel ; les auteurs commencent par décrire moteurs et voitures, puis donnent des conseils pratiques sur la conduite et l'entretien des appareils : allumage, nettoyage, mise en marche arrêts, etc., ce qui fait de l'ensemble de cet ouvrage un *vade-mecum* très pratique et très clair, utile non-seulement à ceux qui désirent conduire des automobiles, mais encore à ceux qui veulent se rendre un compte exact des différents systèmes actuels.

La cinquième partie est consacrée à la description des accessoires divers : graisseurs automatiques, bandages en caoutchouc, essieux et ressorts ; puis des conseils sur le choix de l'essence de pétrole et sur les précautions à prendre avant de se mettre en route et pendant la marche. Le résumé des règlements de douane des différents États d'Europe et d'Amérique sera particulièrement utile aux touristes.

Des notes et additions sur la prise des brevets d'invention en France et à l'étranger, sur l'historique des tramways automobiles à Paris, sur les formules mathématiques les plus usitées dans les calculs et sur la réglementation des automobiles en France, complètent cet ouvrage, un des plus intéressants qui aient été publiés sur ce sujet tout d'actualité.

G. Pellissier.

La Traction électrique, par C. Tainturier. — Un volume in-8°, de 250 pages, avec 103 figures dans le texte. — Paris, 1897. *J. Fritsch*, éditeur. — Prix : 7 fr. cartonné.

La littérature scientifique française est restée pendant de longues années fort dépourvue sur le sujet de la traction électrique. Depuis que les efforts de constructeurs ont développé ce mode de traction en notre pays, cette lacune a été en partie comblée. L'ouvrage de M. Tainturier n'en sera pas moins bien venu. L'auteur s'est, en effet, placé sur un terrain différent de celui qu'avaient choisi ses devanciers, et il a su ainsi donner à son travail une tournure pratique très intéressante : il suppose une personne voulant demander une concession de tramways électriques et il suit pas à pas les études qu'elle doit faire, ainsi que les formalités administratives et les démarches auxquelles elle doit se conformer.

En conformité avec ce plan très simple et très logique, il commence par étudier le tracé de la voie, l'évaluation du trafic probable, et indique les formalités à remplir et les pièces à déposer pour demander la concession. Ces bases posées, il indique comment doit être poursuivie l'étude détaillée du projet de construction : voie et circuit de retour, ligne aérienne, canalisation, voitures et accessoires — freins, sablières, éclairage, chauffage ; — matériel électrique roulant — moteurs, régulateurs, trôlets ; — usine génératrice ; puis il termine cette première partie par quelques considérations sur l'exploitation. Les développements, quoique trop succincts, sont clairs ; comme le dit l'auteur, dans la préface, il n'a voulu donner que les premières notions. Il aurait été à souhaiter que l'auteur donnât des indications bibliographiques qui eussent permis au lecteur non au courant de ce sujet de se reporter à des études plus détaillées.

Dans la seconde partie de l'ouvrage, sont décrits les différents systèmes de traction électrique employés : lignes à conducteur aérien, — système de Clermont-Ferrand, de la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève ; de la Société Thomson-Houston ; de la Compagnie de Fives-Lille ; des Ateliers d'Œrlikon ; lignes à conducteurs souterrains — Holroyd-Smith, Siemens et Halske, Hœrde, Thomson-Houston, Love ; contacts superficiels — systèmes Claret et Villeumier, Westinghouse, Diatto. Enfin vient la description des tramways à accumulateurs, des chemins de fer électrique, des voitures automobiles, des systèmes de traction sur l'eau et des systèmes à courants triphasés.

La troisième partie contient des considérations générales sur le prix de revient de la traction électrique, et la quatrième partie, les documents administratifs — règlements, décrets, cahiers des charges — relatifs à la traction électrique, ainsi qu'un exemple de mémoire descriptif joint à une demande en concession.

En résumé, on voit que le cadre modeste que l'auteur s'est tracé, — cette modestie est le principal reproche qu'on peut faire à cet ouvrage — est bien rempli.

G. Pellissier

CHRONIQUE

L'emploi des machines à vapeur verticales dans les stations centrales. — Si on n'en est plus à discuter les avantages de l'accouplement direct sur les transmissions par courroies, le choix du modèle du moteur à employer donne encore, comme le fait remarquer *The Electrical Engineer*, lieu à des discussions.

Tout d'abord on peut se demander s'il est

préférable d'employer un moteur horizontal où un moteur vertical. Suivant notre confrère les deux solutions se valent au point de vue du rendement, mais si l'on tient compte de l'encombrement, ce qui n'est pas à dédaigner quand le terrain d'emplacement de la station est cher, ainsi qu'il arrive dans beaucoup de cas, le moteur vertical est préférable.

Toutefois l'emploi des moteurs verticaux n'est pas sans présenter quelques inconvénients, du moins dans les conditions actuelles de leur emploi. On a pris l'habitude de disposer la dynamo au-dessous des cylindres et des pièces en mouvement du moteur; comme pour l'accouplement direct ces pièces doivent avoir une grande vitesse il faut qu'elles soient abondamment lubréfiées et dès lors l'huile se trouve projetée de toutes parts et en particulier sur la génératrice que protègent mal les cuvettes disposées au-dessus d'elle pour recevoir l'huile. Or cette projection de l'huile sur la dynamo diminue l'isolement de ses diverses parties et, en fait, les constructeurs ne garantissent pas l'isolement dans ces conditions.

Aussi notre confrère se range-t-il à l'opinion d'un des meilleurs ingénieurs américains qui propose de placer la dynamo au-dessus du moteur; de ce fait la dépréciation annuelle de la dynamo, qui est cotée de 10 à 12 p. 100, se trouverait réduite à 4 ou 6 p. 100; de plus les démontages de la dynamo nécessités par les réparations seraient rendues plus faciles.

La station centrale à vapeur, à courant alternatif de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft, à Budapest. — Au cours d'un récent voyage à Budapest M. F. Jehl a visité l'intéressante station polyphasié de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft et vient de la décrire dans *The Electrician* (t. XXXIX, n° 81 p. 246; 18 juin 1826). Nous en retracerons ici les caractères principaux, complétant ainsi les renseignements que nous avons déjà donnés sur les importantes installations électriques de la capitale hongroise. (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, pages 103, 299 et 529; 16 janv., 13 fév. et 20 mars 1897.)

Cette station, dont M. Etienne de Fodor, ex-ingénieur de la compagnie Edison à Paris, est le directeur, est située à environ trois kilomètres de la ville. Elle produit du courant biphasé à 1 800 volts qui est réparti entre un certain nombre de postes de transformation reliés au circuit primaire d'un réseau de distribution d'éclairage et de force motrice.

La chambre de chauffe comprend trois groupes de chaudières. Le premier est formé de trois chaudières doubles Tischbein ayant chacune 150,5 m² de surface de chauffe; le second, de deux chaudières Steinmüller de 151,5 m²; et le troisième. de quatre chaudières Babcock ayant respectivement 190 m² de surface de chauffe, soit au total une surface de chauffe de 1514,5 m² pour la batterie tout entière. Les conduites de vapeur venant de chacune des chaudières sont raccordées isolément à une conduite générale disposée en boucle sur laquelle sont greffées les prises de vapeur individuelles de chacun des moteurs à vapeur.

En marche normale l'alimentation d'eau est affectée par trois pompes à vapeur Worthington pouvant débiter chacune 9 000 litres à l'heure. Deux autres pompes du même modèle mais mues chacune par un moteur polyphasé servent de réserve. Ces deux dernières ont été introduites par M. de Fodor; la commande électrique s'effectue à l'aide d'engrenages dont le fonctionnement est loin de causer le bruit qu'on leur prête généralement. La dépense d'énergie est aussi très faible. En résumé cette innovation a donné d'excellents résultats. De plus, elle constitue une perspective permanente de prompt secours en cas d'avarie subite à l'une des pompes à vapeur.

L'eau servant à l'alimentation des chaudières est empruntée aux conduites de la ville et soigneusement mesurée par des compteurs Worthington dont l'étalonnage est vérifié une fois par mois. Avant d'être utilisée, elle traverse d'abord un réchauffeur qui en élève la température à un degré suffisant pour faciliter son épuration dans l'appareil Dervaux où elle se rend à sa sortie du réchauffeur. Cette eau est en effet très dure; on ne pourrait l'employer directement à l'alimentation des chaudières sans craindre la formation rapide de dépôts calcaires et les accidents qui en résultent; c'est pourquoi on l'adoucit à l'aide de chaux et de soude contenue dans l'appareil Dervaux.

Les foyers sont alimentés avec du charbon en menus fragments connu sous le nom de « Ostrauer nut coal » qui laisse environ 2,6 p. 100 de cendres et 7,4 p. 100 de scories, mâchefer, etc., soit en tout 10 p. 100 de matières incombustibles. En

tenant compte de la quantité de charbon dépensée — ce qui est observé minutieusement d'ailleurs dans cette usine — on a trouvé qu'un kilogramme suffisait pour vaporiser 7,5 litres d'eau en maintenant la pression à 10 atmosphères.

La salle des machines est contiguë à la chaufferie et renferme six groupes à accouplement direct disposés sur une seule rangée le long de la cloison qui sépare les deux salles. Chacun d'eux est formé d'un moteur à pilon, à triple expansion et d'un alternateur-volant de 300 kilowatts. Les moteurs ont une vitesse normale d'environ 110 tours par minute. Leur puissance individuelle varie dans les limites de 4 à 500 chevaux et tous travaillent avec condensation. La condensation a été adoptée à la suite d'une série d'essais qui ont prouvé que lorsque les moteurs travaillaient sans condensation le couplage en parallèle des alternateurs ne pouvait se maintenir d'une façon stable par suite de l'irrégularité de puissance fournie par les moteurs intéressés. Actuellement le couplage est des plus simples à réaliser et à maintenir, sans y attacher d'attention spéciale. L'eau provenant de la vapeur condensée est d'ailleurs utilisée à nouveau sans une bien grande dépense d'énergie, environ 4 p. 100 de la production totale. A sa sortie du condenseur, elle se rend dans un grand bassin séparé en trois compartiments communiquant l'un à l'autre par des trous pratiqués dans le bas des cloisons par lesquels elle s'écoule en se débarassant des graisses et impuretés. Elle arrive donc à peu près propre dans le troisième compartiment où plongent les crépines de trois pompes Sulzer, à commande électrique, qui l'envoient dans un réfrigérant Gradir dont elle traverse les tamis et se rend ensuite au réservoir d'alimentation. Un deuxième bassin en tous points analogue au premier sert de réserve et est mis en service quand l'huile sale accumulée dans le premier en nécessite le nettoyage. Cette huile est recueillie et filtrée pour servir à nouveau. On réalise de ce chef une économie notable et, d'après l'auteur, la dépense d'huile pour le graissage des machines de la station y compris les pompes des moteurs électriques affectés à la commande des machines outils, etc., ne dépasse pas 0,6 gramme par hectowatt-heure produit.

Les six alternateurs de cette station sont du type à induit tournant et à inducteur fixe ; leur puissance est de 300 kilowatts en courant biphasé à 1800 volts. L'inducteur est formé d'une couronne massive en 4 segments assemblés par des boulons et portant à l'intérieur 28 projections polaires enroulées en série. Leur excitation nécessite un courant de 22 ampères à 250 volts dont la provenance sera indiquée plus loin. L'induit est constitué par de simples enroulements Gramme connectés à 90 degrés ; chacun d'eux est relié par des lamelles aux quatre cercles concentriques d'un collecteur radial. La fréquence adoptée est la fréquence 50.

Les connexions entre chaque alternateur et le tableau sont établies par 4 conducteurs. Le couplage en parallèle s'effectue d'après les indications d'un voltmètre ordinaire intercalé dans le circuit des deux machines ; dès que l'index vient au zéro, ce qui indique la synchronisation, on ferme les commutateurs et le couplage est effectué sans le secours d'aucun autre appareil tel que lampes, rhéostats, etc. Quand on veut supprimer un alternateur en marche, on diminue graduellement sa charge jusqu'à l'amener au dixième de sa valeur ; le commutateur bipolaire peut alors être ouvert sans donner lieu à la production d'étincelles nuisibles ; le courant excitateur est ensuite supprimé.

Le système actuel d'excitation des alternateurs a été récemment introduit par M. de Fodor et constitue une des particularités de cette station. Il forme à lui seul une petite usine distincte et complètement indépendante, du moins électriquement, de la station primaire. Dans une des salles du rez-de-chaussée de cette dernière est installée une batterie d'accumulateurs en charge permanente par deux dynamos qu'actionnent deux locomobiles. On conçoit qu'avec ce système, on puisse compter sur une quantité régulière d'énergie fournie pour l'excitation. En moyenne cette quantité dépasse rarement 2,1 p. 100 de celle engendrée par les alternateurs.

La batterie fournit en outre le courant nécessaire aux lampes de l'éclairage de l'usine et aux moteurs des machines-outils dans l'atelier de réparation.

Le réseau de distribution a une longuenr totale de 35,3 km et utilise environ 42,3 tonnes de cuivre. Il comprend un circuit primaire à haute tension et un circuit secondaire à basse tension dans lequel le courant alternatif est transformé en courant continu et distribué aux abonnés par un système à trois fils sous le potentiel de 2 × 110 volts. La transformation s'opère dans cinq sous-stations à l'aide de transformateurs rotatifs chargeant des

accumulateurs au moment de faible charge et alimentant le réseau en parallèle avec les batteries au moment de la pleine charge. Une sixième sous-station est dépourvue d'accumulateurs; dans ce cas, les transformateurs sont connectés directement au réseau secondaire. Ce système aurait donné, paraît-il, d'aussi bons résultats qu'avec les accumulateurs, du moins en ce qui concerne la régulation. Chaque transformateur est formé d'un moteur polyphasé accouplé à deux dynamos à courant continu; les batteries se composent chacune de 148 éléments, type Hagen, dont la capacité est de 390 ampères à la charge et 470 environ à la décharge. Elles peuvent alimenter respectivement 9 400 lampes de 16 bougies. Leur rendement est d'environ 77 p. 100.

Pendant l'hiver l'alimentation par accumulateurs dure en moyenne 12 heures sur 24, les machines de la station primaire fonctionnant de 10 heures du matin à 10 heures du soir. En été elle va jusqu'à 16 heures sur 24; l'arrêt des machines dure de 10 heures du soir à 2 heures de l'après-midi du lendemain. Les quantités d'énergie fournies directement et par accumulateurs sont données par le tableau suivant :

	Hiver.	Été.
Alimentation directe	72 p. 100.	65 p. 100.
— par accumulateurs	28 »	35 »

Le rendement total de la station varie suivant les saisons; on l'évalue en moyenne à 67 p. 100 pour toute la période hibernale; les 33 p. 100 de perte sont répartis comme il suit :

Feeders du réseau primaire.	5 p. 100.
Transformation	20 »
Pertes dans les accumulateurs.	8 »
Total. . . .	33 p. 100

La quantité totale d'énergie engendrée a été, en 1894, de 1 200 000 kilowatts-heure; en 1895, de 1 900 000 kilowatts-heures et en 1896 de 2 800 000 kilowatts-heure. Pendant ces trois années, les plus fortes charges ont été respectivement de 15, 17 et 21 000 lampes de 16 bougies; et les plus faibles 2, 3 et 9 000 lampes. La production des watt-heures par kilogramme de charbon a aussi suivi une augmentation progressive de 432 à 575 watts-heure.

L'énergie est vendue aux abonnés à raison de 1 franc le kilowatt-heure pour l'éclairage et 0,80 pour la force motrice.

La conversion directe de la chaleur en électricité. — Dans une longue conférence faite dernièrement à la New-York Electrical Society, M. H. B. Cox a exposé les principes de fonctionnement de sa pile thermo-électrique (voir *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 26; VI, 501; IX, 144 et 410) et donné quelques détails concernant la fabrication de ses couples constitués, comme on le sait, de lames en alliage nickel-cuivre et de secteurs en alliage composé de deux parties d'antimoine et d'une de zinc. Le dernier perfectionnement apporté à la construction ne change rien dans la pile proprement dite; il se rapporte à un procédé qui permet de couler 15 couples d'un seul coup. M. Cox se propose de mettre prochainement en service une machine spéciale devant construire les piles sans aucun joint ni raccord.

En ce qui concerne le rendement de ces générateurs, l'inventeur croit avoir atteint la limite maximum; les perfectionnements qu'il apportera dans leur construction ne peuvent être que d'ordre purement mécanique, à moins que ses recherches pour obtenir un courant de grande intensité et faible potentiel donnent lieu à un résultat marqué.

Il dit ensuite que, contrairement à ce qu'on serait tenté de croire, la température de l'eau destinée à refroidir l'une des surface de contact de chaque couple n'a aucune influence accentuée sur le rendement d'une pile, et, de plus, que l'élément étant construit pour produire un courant quand ses points de soudure sont chauffés et refroidis à des températures données, il n'y a aucun avantage à pousser à l'excès soit le refroidissement d'une soudure, soit l'échauffement de l'autre. L'expérience a prouvé en effet que si l'on emploie de l'eau trop froide son action diminue alors l'effet des soudures chauffées; d'autre part, des augmentations de température de 30 à 40° au-dessus de la température normale des soudures chaudes ne donnent lieu qu'à une variation de quelques dixièmes de volts dans un appareil donnant normalement une force électromotrice de 5 volts.

A la suite de cette conférence, quelques auditeurs parmi lesquels nous relevons MM. Dunn, Crocker et Mailloux, ont pris la parole pour discuter certaines questions relatives aux phénomènes thermo-électriques. Nous n'y insisterons pas, nous bornant à signaler l'analogie qu'établit M. Mailloux entre le phénomène Peltier et la force contre-électromotrice, ainsi que la conséquence qu'il en tire : « dans le fonctionnement du générateur

Cox il y a lieu, dit-il, de tenir compte de l'effet Peltier. Cet effet, en tendant à abaisser la température des soudures chaudes et à augmenter celle des soudures froides, joue un rôle analogue à la self-induction dans les dynamos. Par conséquent si, dans une pile thermo-électrique, on pousse à l'excès la différence des températures, l'augmentation d'intensité de courant qui doit en être la conséquence augmente aussi l'intensité des effets Peltier et la force contre-électromotrice qui en résulte. Par suite on conçoit que, comme l'a observé M. Cox, le rendement d'un appareil de puissance déterminée soit plutôt affaibli qu'augmenté en fonctionnant dans des conditions anormales ».

Extraction électrolytique de l'or des dissolutions cyanurées. — Après un grand nombre d'expériences, toutes conduites dans un but d'application industrielle, M. S. Creasdale se prononce (*The Electrical Review*, de Londres, 25 juin 1897, p. 889), en faveur des procédés électrolytiques pour l'extraction de l'or des dissolutions cyanurées.

M. Creasdale emploie le dispositif Siemens et Halske : une plaque de zinc amalgamé comme électrode positive, et une lame de plomb comme électrode négative sans interposition de diaphragme. L'intensité du courant varie de 4,4 à 5 milliampères par décimètre carré de surface des plaques recevant le dépôt; la tension n'est pas déterminée, mais elle est aussi très faible. La circulation du liquide est telle qu'il passe dans les bacs 50 gr de dissolution par minute et par décimètre carré de plaques.

Dans trois expériences successives, l'or récupéré a été respectivement de 95,50, 99,56 et 99,06 p. 100; dans une quatrième, faite avec une dissolution très pauvre, on a pu extraire 93,48 p. 100 de l'or en dissolution en doublant la vitesse de circulation du liquide dans les bains. La détérioration des plaques de zinc a été presque nulle ; la perte en cyanure a été, pour les deux premières expériences, respectivement de 8,78 et 2,60 p. 100 et nulle pour les deux autres.

L'auteur a remarqué qu'au sortir des cuves, la dissolution cyanurée montre une très grande activité à dissoudre de l'or à nouveau, ce qu'il explique par la présence de l'oxygène à l'état naissant. Cet accroissement de l'action dissolvante est, paraît-il, aussi intense que lorsqu'il est provoqué par l'addition du peroxyde de sodium. La perte en cyanure est moins considérable.

Le tannage électrique des peaux. — M. F. Rœver a fait à ce sujet quelques recherches théoriques qu'il exposait dans les *Wiedemann's Annalen* (1896, p. 397-400) et que M. Bayard résume comme il suit dans le dernier numéro du *Journal de Physique* : On a proposé d'accélérer le tannage des peaux par des courants électriques traversant les solutions de tanin dans lesquelles elles sons plongées.

A priori, il semble, en effet, que l'endosmose électrique doit se produire à travers les pores et, par suite, déterminer un écoulement du liquide suivant les parois mêmes de ceux-ci, tandis que sous l'action des forces hydrostatiques l'écoulement du liquide a lieu principalement suivant les axes de ces pores.

L'auteur a étudié l'influence du courant électrique sur le mouvement des solutions de tannin à travers les peaux telles qu'elles sont traitées dans les tanneries. Il est arrivé aux conclusions suivantes :

1° Des solutions de tannin à 0,2, 0,3 et 0,5 p. 100 qui ne traversent les peaux qu'en petites quantités par pression hydrostatique, passent, au contraire, en quantités considérables sous l'action d'un courant électrique. Le liquide se meut dans le sens du courant;

2° Dans les premières minutes, l'action est proportionnelle à la force électromotrice employée, mais non à l'intensité du courant;

3° La masse de liquide transporté par le courant électrique décroît après un passage de ce courant, dans un même sens, pendant 0,2-8 minutes;

4° Par inversion du courant électrique, le courant liquide croît de nouveau jusqu'à un maximum qu'il atteint en 0,2-8 minutes pour décroître ensuite :

5° Pour accélérer la circulation de la solution du tannin, il faut renverser le courant à de courts intervalles, par exemple toutes les minutes.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 31 Juillet 1897. 4e Année. — N° 32.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

MATÉRIEL ROULANT

Le trôlet A. Hensch et P. Brandt se compose (fig. 1 et 2) d'un bras *d* portant à sa partie supérieure un plateau métallique *a*, monté sur un genou *c b*; ce plateau est pressé

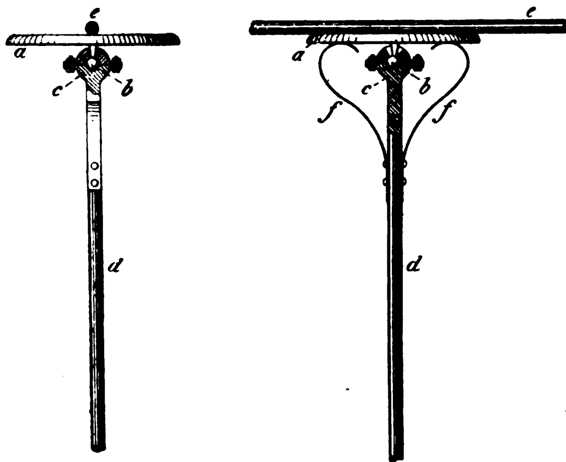


Fig. 1 et 2. — Trôlet à plateau de Hensch et Brandt. Vues longitudinale et transversale.

par deux ressorts *f*, placés l'un en avant, l'autre en arrière de la tige *d*; ces ressorts appliquent le plateau *a* sur le fil à trôlet *e* tout en lui permettant de suivre les irrégularités du conducteur aérien et de passer aux joints, courbes, etc., sans que le courant soit jamais interrompu; en outre, le contact avec le fil *e* se faisant rarement suivant un diamètre, le plateau *a* tourne sur son axe et l'usure est régulière. Les ressorts *ff* servent à transmettre le courant du plateau *a* au circuit des moteurs.

Le contrôleur de la Steel Motor Company est caractérisé par l'emploi d'un petit commutateur auxiliaire G (fig. 3) qui permet de faire tourner les deux moteurs dans un sens ou dans l'autre, de mettre l'un ou l'autre des deux moteurs hors circuit et de faire tourner le moteur restant soit en avant, soit en arrière. Le contrôleur proprement dit réalise mécaniquement les changements de communications nécessaires au groupement des deux moteurs soit en série, soit en parallèle, suivant les schémas des figures 4 à 8 où chacune des communications successives est indiquée par le chiffre correspondant. On suit facilement la marche des courants sur le diagramme, pour chaque position du contrôleur; nous n'y insisterons pas.

Les moteurs enroulés en série ont été adoptés à peu près exclusivement pour le service des tramways, parce que les moteurs en dérivation donnaient lieu à diverses objections: 1° les moteurs brûlaient facilement s'il venait à se produire, en marche, une interruption du courant, suivie du rétablissement

brusque du courant; 2° l'isolement des différentes parties est plus difficile qu'avec le moteur en série, puisque chacune d'elles est soumise à la tension totale; 3° le volume du moteur schunt est beaucoup plus grand que celui du moteur en série; 4° son prix est aussi beaucoup plus élevé.

Mais à côté de cela le moteur en dérivation présente de nombreux avantages: 1° il permet la récupération aux pentes, aux ralentissements, aux arrêts, ce qui conduit: 2° à diminuer l'usure des roues et des freins; 3° il peut donner des variations de vitesse considérable, mais pour chaque réglage du moteur la vitesse est pratiquement constante; 4° il permet d'obtenir un couple moteur quelconque, indépendamment des variations de vitesse, ce qui est très important;

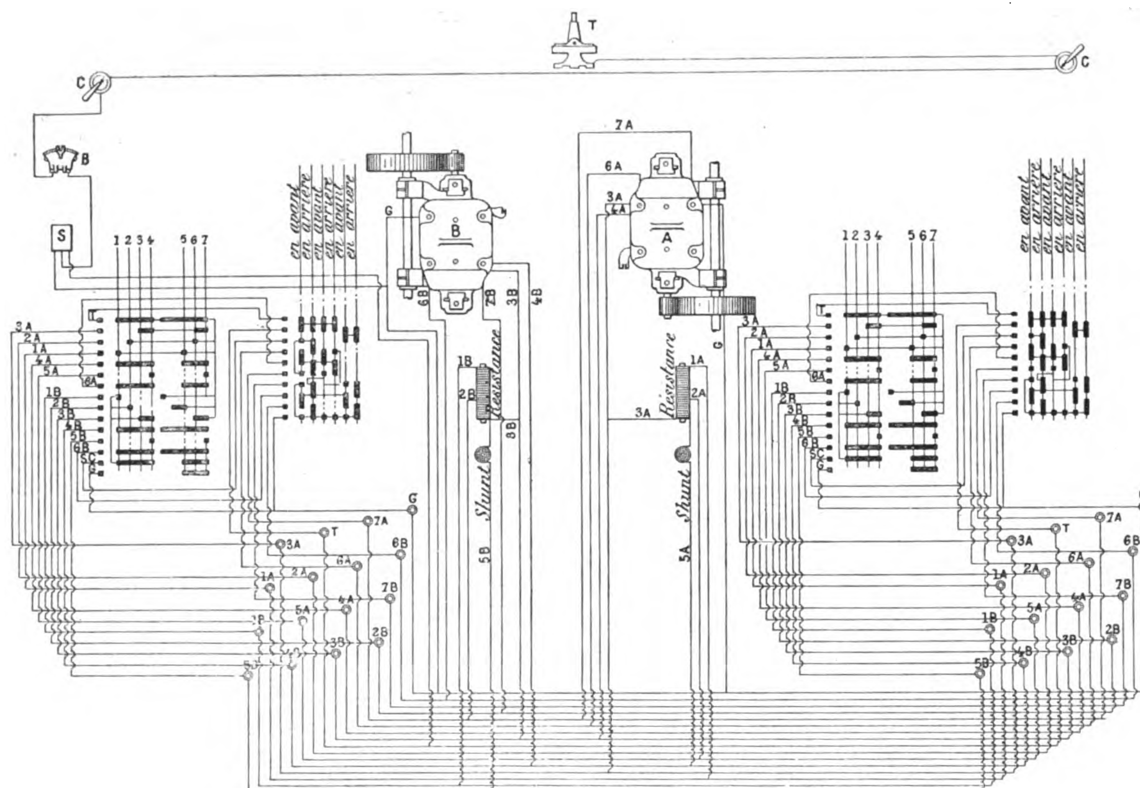


Fig. 3. — Schéma des communications du contrôleur de la Steel Motor C°.

5° le rendement du moteur peut être très élevé, même aux faibles vitesses, ce qui, joint à la récupération possible, permettrait de diminuer la consommation d'énergie par voiture kilomètre et, partant, de diminuer la capacité de l'usine et la dépense de cuivre dans les canalisations; 6° enfin la vitesse peut être augmentée ou diminuée indépendamment du voltage, ce qui permettrait de conserver une allure régulière sur une longue ligne, en dépit des pertes de tension dans la transmission.

Ajoutons que les contrôleurs seraient très simples: les seules opérations à effectuer consistent, en effet, à introduire une résistance variable dans le circuit de l'armature et à modifier l'intensité du champ inducteur; cette dernière opération se fait de préférence en divisant les bobines inductrices en trois sections dont la résistance et le nombre de tours sont convenablement proportionnés et qu'on peut grouper soit en série soit en dérivation; en outre, un rhéostat permet de varier l'intensité du champ pour chaque groupement des circuits inducteurs.

Les figures 9, 10 et 11 indiquent schéma-

tiquement les principales combinaisons que permet de réaliser le contrôleur de M. W. Baxter, dont la figure 12 montre les différents circuits. Ces figures sont trop claires pour que nous insistions sur la marche des courants.

Il faut que chacune des sections des inducteurs soit capable de supporter sans échauffement et sans danger pour l'isolement la différence totale de potentiel, ce qui implique une section de cuivre et une épaisseur d'isolant assez considérables; mais, d'autre part, pour que le rendement du moteur soit suffisamment élevé, il faut que le courant dérivé dans les inducteurs soit une très faible partie du courant total, ce qui force à leur donner une résistance élevée; leur volume sera donc, au total, relativement réduit. Il faut que le volume du fer du circuit magnétique soit tel qu'avec les plus fortes inductions la saturation ne soit pas dépassée et qu'avec les plus faibles inductions le champ produit soit suffisant pour le service à effectuer; sans cette dernière condition, il faudrait augmenter l'intensité du courant initial dans les inducteurs et, par conséquent, diminuer le rendement. Pour toutes ces raisons le volume du moteur shunt doit être plus grand que celui du moteur en série; mais c'est un inconvénient assez faible et les avantages énumérés plus haut suffisent à le faire adopter dans bien des cas.

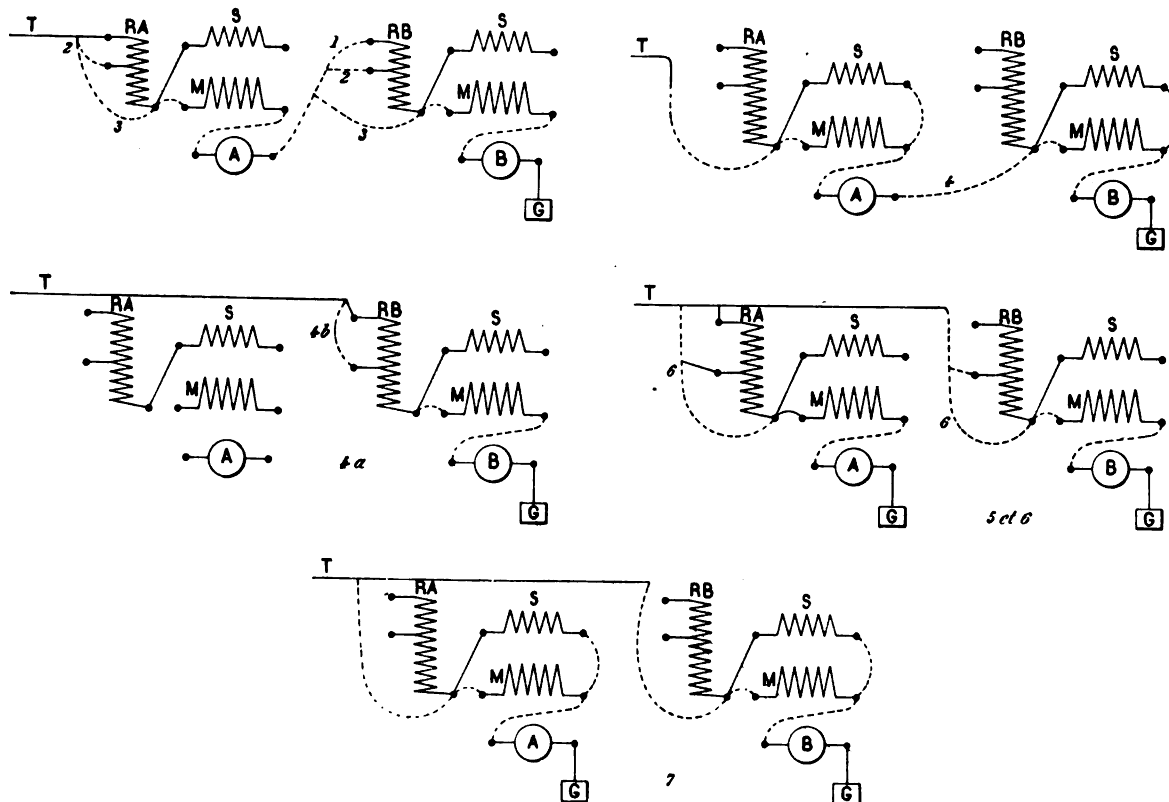


Fig. 4 à 8. — Schémas des groupements du contrôleur de la Steel Motor C°.

Le contrôleur pour moteurs de tramways à courants triphasés inventé par MM. W.-B. Potter et F.-E. Case (General Electric Company), permet de grouper les deux moteurs d'une voiture soit en série, soit en dérivation et aussi de supprimer l'un ou l'autre des moteurs s'il vient à être abimé, sans arrêter le fonctionnement de l'autre. Il est désigné sous le nom de contrôleur *tandem-parallèle*

pour le distinguer des contrôleurs série-parallèle employés avec les courants continus.

Les différentes combinaisons qu'il permet d'effectuer sont représentées schématiquement dans les 7 diagrammes de la figure 13, qui sont assez clairs pour qu'il soit inutile d'y insister. Le contrôleur peut prendre 7 positions indiquées par les lignes verticales 1 à 7 (fig. 14), correspondant respectivement aux groupements ci-dessus, comme on s'en rend facilement compte en suivant les circuits dans chacune de ces positions.

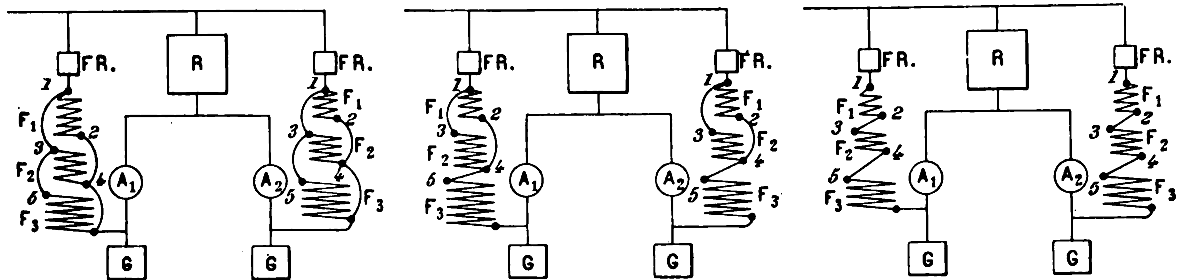


Fig. 9, 10 et 11. — Schéma des groupements dans le contrôleur Baxter pour moteurs shunt.

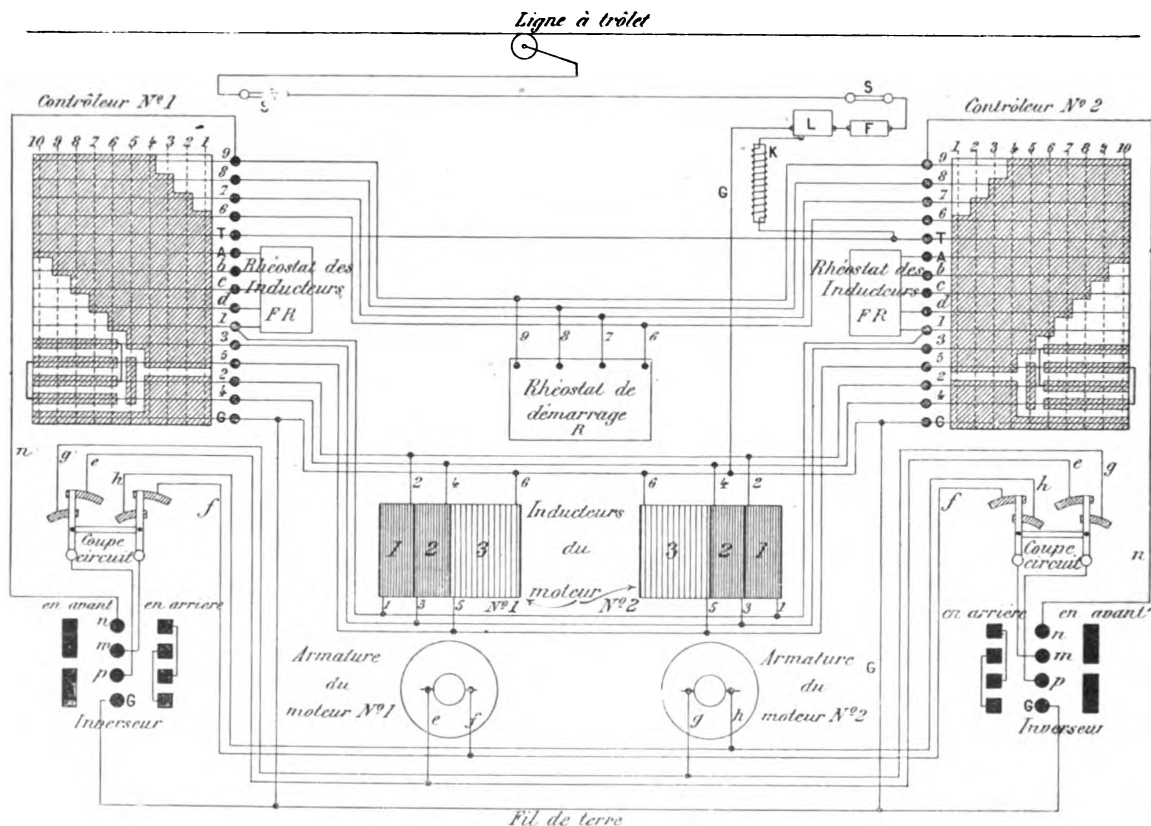


Fig. 12. — Schéma des communications dans le contrôleur Baxter pour moteurs shunt.

A titre d'exemple, voici la marche des courants dans la première position (les deux moteurs en série, toutes les résistances en circuit) : Le courant capté par le trôlet T_1 passe par le contact 25 de l'inverseur, le contact 24, le contact fixe 1 du contrôleur, le contact 2, le contact *d* de l'interrupteur le câble Y_1 et atteint l'inducteur (fixe) du moteur

M_1 par la borne Y_1; là il se partage en deux parties : l'une qui retourne au générateur par la terre G ou un troisième conducteur et un troisième trôlet G, l'autre qui retourne par la borne X_1, le câble X_1, les contacts *c*, 3, 4, 23, 22 et le trôlet T_2. Le courant induit dans l'armature (mobile) du moteur M_1, se rend en partie à la terre ; ensuite, par A_1, *a*, 13, 15, *g*, A_2, gagne l'inducteur (mobile) du moteur M_2, où une partie retourne par la terre G ; à partir de la borne B_2, l'autre partie retourne par le câble B_2, les contacts *h*, 14, 16 et *a* où le circuit est complètement fermé. Le courant induit dans l'armature (fixe) du moteur M_2 se rend en partie à la terre par Z_2. A partir de X_2, le courant passe par le câble X_2, les contacts *e*, 5, 6, toute la résistance R_1 ; là il se partage ; une partie passe par la résistance R_3, et gagne directement le sol par 11, 10 et G ; l'autre partie passe par R_2, 8, 7, *f*, Y_2.

Le rôle du coupe-circuits C O est capital et demande à être expliqué. L'appareil se com-

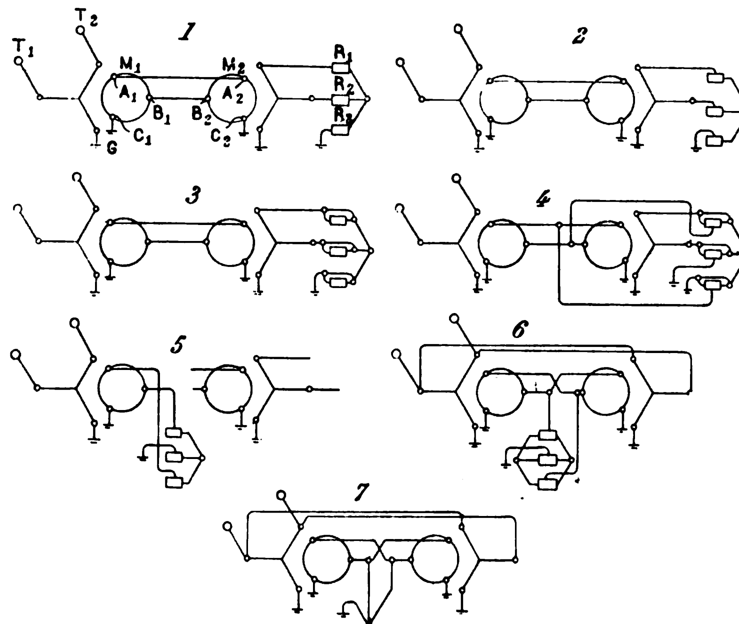


Fig. 13. — Schémas des groupements dans le contrôleur tandem-parallèle pour moteurs triphasés de Potter et Case.

pose de trois parties distinctes : l'une C O_1 composée des deux lames *a* et *b* mobiles ensemble (fig. 14 et 15) est placée sur le circuit du moteur M_1 ; l'autre C O est composée des lames *c* et *d* dont la base est reliée d'une façon permanente avec les deux contacts extérieurs *m* et *n*, comme l'indique le diagramme ; la troisième partie, qui se rapporte au moteur M_2, se compose des quatre lames solidaires *e*, *f*, *g* et *h* ; lorsqu'on renverse ces lames, les deux lames *e* et *f* viennent l'engager dans les contacts *m* et *n* ; des lames isolantes I et I_1 sont disposées de façon à ce qu'en ouvrant l'un ou l'autre des commutateurs CO_1 ou CO_2, on ouvre en même temps le commutateur CO. Dans ces conditions, si le moteur M_1 est hors de service et qu'on manœuvre la manette de CO_1, les quatre lames *a*, *b*, *c* et *d* seront soulevées et les circuits A_1, B_1, X_1, Y_1 seront coupés; le moteur M_1 sera bien coupé, mais en même temps le moteur M_2 ne recevra aucun courant, tant que le contrôleur sera sur les 5 premières touches correspondant au groupement en tandem; lorsque le contrôleur passera sur la touche 6, le circuit du moteur M_2 sera fermé par T_1, 25, 24, 1, 5^a, 5, *e*, X_2, Y_2 *f* 7^a, 4, 23, 22, et T_2, d'une part, par la terre, d'autre part. Le circuit induit sera fermé par A_2, *g*, 15, 17, la moitié de R_1, la moitié de R_3, 12, 14, g et B_2, d'une part, par C_2, la terre, 10, 9 et la moitié de R_2 d'autre

part ; à la touche suivante, toutes les résistances seront supprimées.

Si au contraire on veut supprimer le moteur M_2, on manœuvre le commutateur CO_3 ce qui a pour effet de soulever les lames *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h* et de faire venir les lames *f* et *e* en contact avec les mâchoires *m* et *n*. Dans ces conditions le circuit du moteur M_1 sera ouvert tant que le contrôleur ne sera pas sur la sixième touche correspondant à la première position du groupement en parallèle. Dans cette position le circuit du moteur M_1 sera fermé par T_1, 25, 24, 1, 5^a, 5, la lame *e* du commutateur, le contact *n*, le câble Y_1, le moteur X_1, le contact *m*, la lance *f*, 7, 7^a, 4, 23, 22, T_1, puis aussi par Z_1 et la terre. Le circuit induit se suit aisément sur le diagramme.

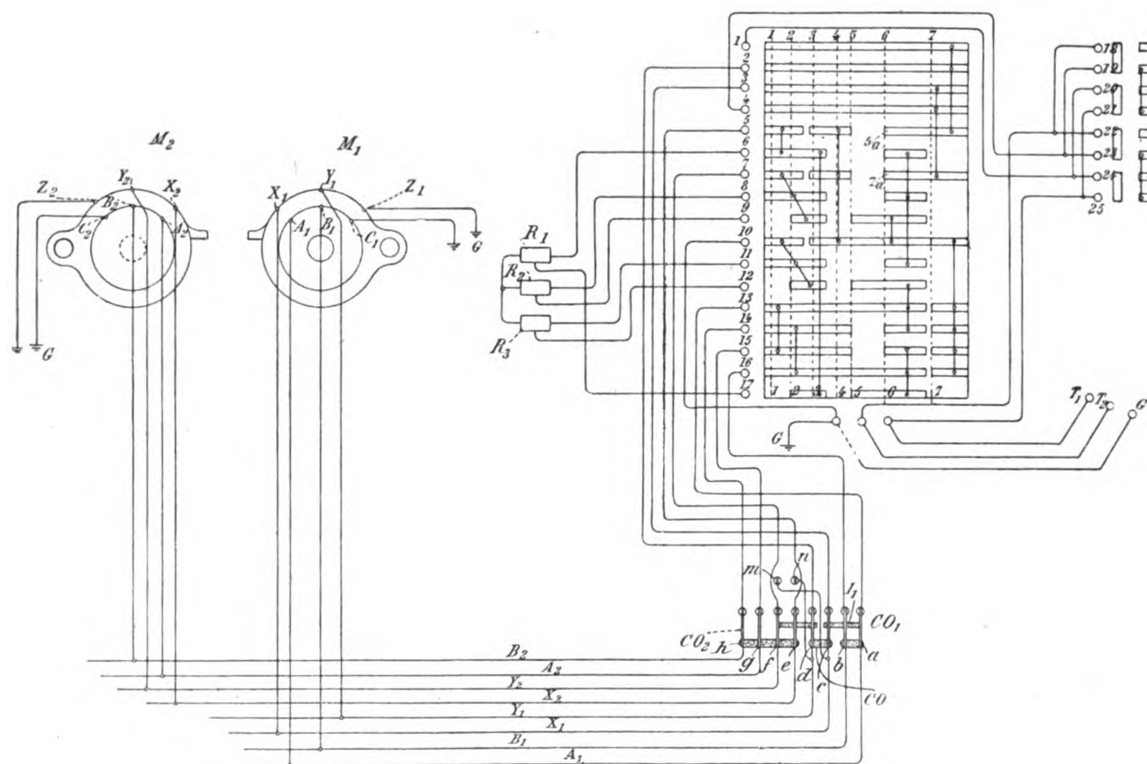


Fig. 14. — Schéma des communications dans le contrôleur pour moteurs triphasés de Potter et Case.

Le frein électrique F.-E. Case (General Electric Company) est surtout caractérisé par son mode de suspension qui permet de l'adapter facilement, soit isolément, soit par paire, à des voitures quelconques, motrices ou de remorque.

Le frein lui-même se compose d'un plateau en fer B (fig. 16 à 20), enfilé sur l'axe des roues E sans pouvoir tourner avec lui ; un collier K fixé sur l'axe empêche les déplacements latéraux de ce plateau qui est muni d'une boîte à graisse B′ et des bobines N destinées à l'aimanter lorsqu'on y fait circuler le courant. En face de ce plateau en est monté un autre I, également en fer, mais solidement claveté sur l'axe E. Lorsque le courant passe dans les bobines N, le plateau I est attiré par B, et comme ce dernier ne peut tourner, il en résulte un freinage puissant, réglable facilement par l'intensité du courant magnétisant.

Pour empêcher le plateau B de tourner, on emploie le dispositif suivant : le plateau porte, sur la face opposée au plateau I, deux paires d'épaulements *b* et *b′* (fig. 17 et 18) entre lesquels vient s'engager une barre C

qui est maintenue par une plaque D; il existe un jeu suffisant entre cette barre C et des sail-

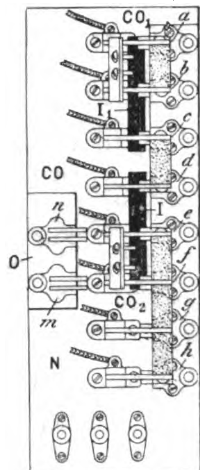


Fig. 15. — Détail des coupe-circuits du contrôleur Potter et Case.

lies *b b'* et la plaque D pour permettre les mouvements de faible amplitude qui accom-

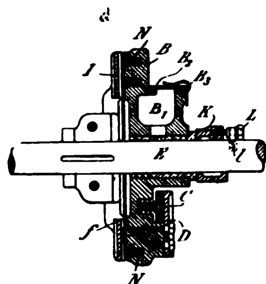


Fig. 16. — Frein électrique Case. Coupe.

pagnent la marche de la voiture; un ressort énergique *f* empêche que la barre C ne

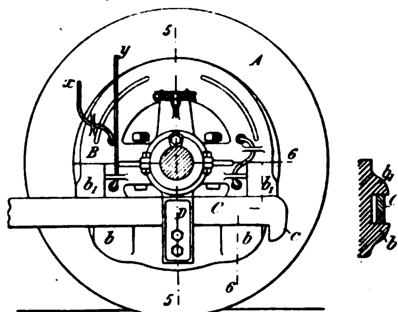


Fig. 17 et 18. — Frein électrique Case. Vue en bout. Détail.

puisse, dans ces conditions, produire un bruit dégagréable. Si l'on n'emploie qu'un seul frein, la barre C est fixée à une de ses extrémités à une barre transversale G du truck de la voi-

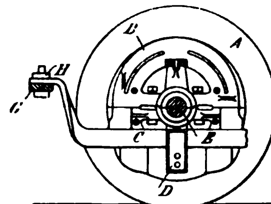


Fig. 19. — Suspension d'un frein isolé.

ture (fig. 19); pour que cette disposition soit possible, il faut que le truck soit d'une construction solide, ce qui est généralement le

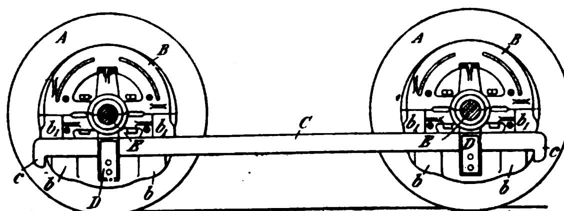
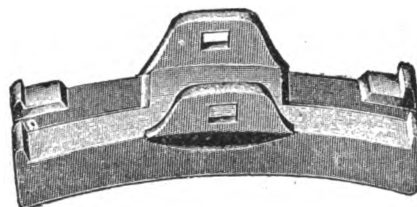


Fig. 20. — Suspension des freins par paires.

cas pour les voitures motrices; si le truck est trop faible, avec d'anciennes voitures de remorque, par exemple, on emploie deux freins (fig. 20) dont les plateaux B sont réunis



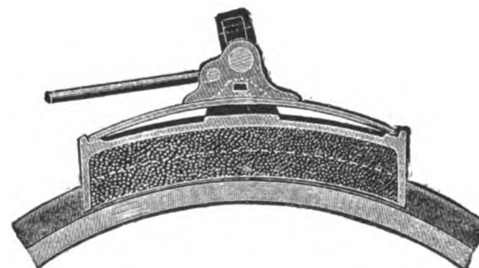


Fig. 21 et 22. — Frein Kinzer.

par une seule barre rigide C, fixée dans chacun d'eux comme il est dit plus haut et munie à ses extrémités d'épaulements *c* qui empêchent qu'elle ne s'échappe.

On sait que les freins produisent l'arrêt le plus rapide lorsque leur sabot frotte aussi fortement que possible sur la jante des roues, sans cependant empêcher la rotation de celles-ci. Pour obtenir automatiquement cet effet maximum, M. Kinzer a imaginé de relier le sabot du frein à la tige de commande par un ressort à lames de la force voulue (fig. 21 et 22). Le sabot du frein est formé d'une cuvette en fer remplie d'une composition spéciale comprimée et cuite au four qui donne un coefficient de frottement très élevé et use peu la jante des roues. Grâce à ces dispositions, la Compagnie des tramways de Pittsburgh aurait pu effectuer des parcours de 7 200 km sans changer les freins, tandis que les freins ordinaires devaient être changés après un parcours de 2 650 km.

(*A suivre.*)

G. Pellissier.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DES VÉHICULES DES CHEMINS DE FER DU JURA-SIMPLON

Beaucoup de personnes sont fort étonnées de ce que la plupart des trains ne soient pas éclairés à l'électricité et déclarent que l'unique cause s'opposant à la réalisation de ce progrès est l'esprit routinier des compagnies de chemins de fer. Placer sur chaque voiture une batterie d'accumulateurs chargée, reliée directement aux lampes sans interposition du moindre organe mécanique ou électrique autre qu'un commutateur d'allumage, cela semble tellement simple et pratique! Pour cette fois les critiques ne sont pas fondées. Évidemment l'éclairage électrique d'une ou de deux voitures ne présente pas la moindre difficulté, mais lorsqu'on veut l'appliquer aux plusieurs milliers de véhicules composant le matériel d'un grand réseau, on rencontre de grandes difficultés, résultant surtout de l'organisation du service des trains.

Nous nous en rendrons compte tout à l'heure en examinant les installations d'éclairage électrique des chemins de fer du Jura-Simplon, que nous avons pu visiter récemment en détail, grâce à l'obligeance de M. Weyermann, ingénieur en chef de la traction et du matériel roulant, de M. Flügel, ingénieur électricien de la Compagnie, et des chefs d'atelier de Fribourg et de Bienne.

Cette Compagnie, dont le réseau est beaucoup plus étendu que celui des quatre autres grandes compagnies suisses de chemins de fer, est une des premières qui ait fait usage de l'éclairage électrique sur son matériel roulant. Les premiers essais datent de 1889 et ont été entrepris à la suite d'une décision du Conseil fédéral imposant l'éclairage au gaz sur tout le matériel neuf des chemins de fer suisses. La compagnie du Jura-Simplon, dont les voitures étaient à ce moment toutes éclairées au pétrole et qui n'avait pas encore fait, comme les autres compagnies, l'essai de l'éclairage au gaz, obtint l'autorisation de monter progressivement, au lieu de lampes à gaz, des lampes électriques sur son matériel, après essai effectué sur 3 voitures. L'essai ayant donné de bons résultats, l'éclairage électrique fut étendu progressivement à un plus grand nombre de véhicules. On ne se servit bientôt plus d'aucun autre mode d'éclairage sur les véhicules nouveaux que la compagnie construisit, et l'on aménagea ensuite toutes les voitures existantes en bon état. Actuellement la compagnie possède, comme matériel à voyageurs : 550 voitures, dont *360 sont éclairées électriquement*, et 86 fourgons, dont *71 sont munis de lampes électriques*. En réalité on peut considérer que l'éclairage électrique fonctionne sur le matériel entier de la compagnie, car il ne manque que sur le stock de vieilles voitures

et de vieux fourgons dont la démolition est très prochaine et qui ne valait pas la peine de recevoir un nouvel appareillage. C'est la seule compagnie de chemins de fer qui ait fait jusqu'à présent une application générale de l'éclairage électrique, et même au point de vue de la valeur absolue, la Compagnie du Jura-Simplon est de beaucoup celle qui a le plus de véhicules aménagés électriquement. Tous les autres chemins de fer européens et même américains ne possèdent en effet qu'un nombre très restreint de voitures munies de l'éclairage électrique et ce nombre ne représente qu'une portion très faible de l'effectif des compagnies.

Commençons par voir quelles sont les dispositions adoptées sur les véhicules. Le matériel employé sur tous les réseaux suisses et notamment sur le Jura-Simplon diffère complètement de celui en usage en France. Les voyages n'étant jamais bien longs, un couloir est ménagé au milieu de tous les véhicules du train, même les fourgons, qui portent à leurs deux extrémités des plates-formes réunies par des passerelles, réservées au conducteur; celui-ci circule constamment d'un bout à l'autre du train et peut faire ainsi un contrôle facile des voyageurs. Presque toutes les voitures contiennent un water-closet placé sur l'une des plates-formes, mais en raison des arrêts fréquents on ne fait guère usage de ces réduits, qui sont d'ailleurs fermés avec une clef à canon et que l'on doit faire ouvrir par le conducteur chaque fois que l'on veut s'en servir. La 2e et la 1re classe sont peu employées en Suisse; la plupart des voitures sont affectées à la 3e classe et sont divisées simplement par une cloison en deux grands compartiments portant des petits bancs en bois transversaux à deux places et contenant : le compartiment des fumeurs 40 places, et le compartiment des non-fumeurs 24 places. Il n'existe pas de voitures de 1re classe, mais seulement des voitures de seconde classe divisées en deux compartiments, un de fumeurs à 32 places et un de non-fumeurs à 16 places, et quelques voitures mixtes ayant trois compartiments : un de fumeurs 2e classe à 24 places, un de non-fumeurs 2e classe à 16 places et un petit de 1re classe à 8 places. Les compartiments de 1re et de 2e classe ne contenant que des fauteuils rapportés et n'ayant pas de garniture en drap sur leurs panneaux, la pose de la canalisation y est très simple : les conducteurs principaux positifs *a* et négatifs *b* (fig. 1 plan) sont constitués par des fils sous

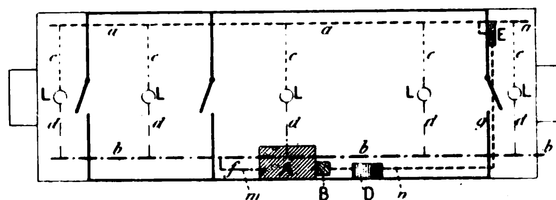


Fig. 1. — Schéma de l'installation d'éclairage électrique d'une voiture du Jura-Simplon.

ruban, placés de part et d'autre de la voiture sous des moulures en bois fixées contre les arêtes longitudinales du plafond. Les fils d'alimentation *c d*, desservant les lampes L disposées dans l'axe longitudinal du véhicule, sont fixés au plafond sous des moulures transversales et viennent se raccorder aux conducteurs principaux *a* et *b*. La partie intérieure de la canalisation est complétée par un fil vertical *f* de peu de longueur reliant le conducteur principal négatif à la batterie et par un fil *g* partant du commutateur d'allumage E placé sur une des plates-formes, à l'extrémité du conducteur principal positif *a*, et se rendant au coffre à accumulateur A fixé au milieu et sous la caisse du véhicule. La partie extérieure *m n* de la canalisation (fig. 1 et 3), qui est constituée par des câbles sous rubans simplement fixés sous la caisse par des attaches métalliques, est très courte et ne comprend que les deux tronçons de fils partant des bornes extrêmes de la batterie. Avant de pénétrer dans l'intérieur de la caisse, le fil sortant du pôle positif de la batterie traverse (fig. 1 et 3) un plomb fusible B, logé dans un petit coffret fixé contre la paroi latérale du coffre à accumulateurs, et un compteur de temps D système Aubert, gra-

**

dué jusqu'à 30 heures, indiquant la durée d'éclairage fournie par la batterie depuis le commencement de la décharge.

Les lampes électriques sont placées au plafond dans des coupes en cristal (fig. 2)

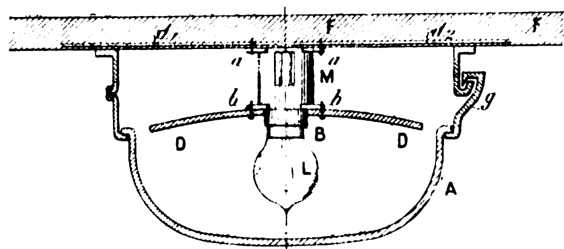


Fig. 2. — Lampe électrique.

s'ouvrant de l'intérieur, ce qui rend leur montage très facile. Les coupes ne sont maintenues fermées que par un simple mentonnet que n'importe qui peut soulever. Cette disposition n'a jamais donné lieu à aucun incident en Suisse, mais en France il serait prudent de fermer les coupes par une clef spéciale, sinon les loustics qui foisonnent dans les trains de banlieue auraient vite fait de briser ou d'enlever les lampes, histoire de s'amuser un brin. La douille à baïonnette B de la lampe L est simplement encastrée dans un manchon en laiton M vissé sur les frises du plafond F ou pavillon par trois pattes *a* venues de fonte. Ce porte-lampe possède, également venues de fonte, trois petites pattes *b* inférieures sur lesquelles est fixé un réflecteur D en fonte émaillée, de 20 cm de diamètre, renvoyant toute la lumière de la

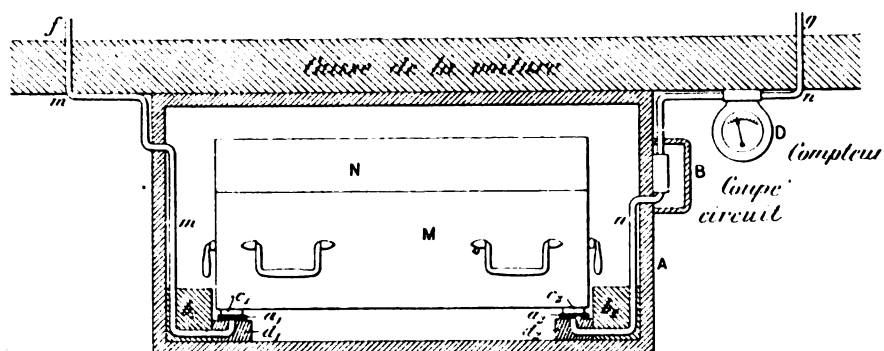


Fig. 3. — Coffre à accumulateurs.

lampe vers le bas. Les fils de branchement d_1 d_2 arrivent à la douille de la lampe en passant par l'intérieur creux du manchon M. Les lampes restent toujours allumées en plein; les voyageurs ne peuvent pas les mettre en veilleuse ni les éteindre complètement; lorsqu'ils veulent se priver de lumière ils doivent se contenter de recouvrir la coupe d'un store bleu à la manière ordinaire. Le conducteur qui circule dans le train n'a pas de lampes de rechange : si une lampe vient à se rompre en cours de route, il doit attendre pour la remplacer l'arrivée du train dans une gare importante où se trouvent quelques lampes de réserve. Le plus souvent l'extinction d'une lampe n'offre pas grand inconvénient, car tous les grands compartiments sont munis de 2 lampes; seuls les petits compartiments de seconde non-fumeurs et de première ne possèdent qu'une seule lampe; mais ces compartiments sont peu occupés et les voyageurs peuvent toujours si leur lampe se brise passer dans le compartiment voisin. Il existe néanmoins dans toutes les voitures un éclairage de secours que le conducteur met en fonctionnement dans le cas d'un accident des accumulateurs plongeant tous les compartiments dans l'obscurité. Dans les voitures nouvellement construites, qui n'ont jamais eu d'autre mode d'éclairage que l'électricité, l'éclairage de secours est constitué par des bougeoirs remisés dans un petit coffret et que l'on accroche au moment voulu après des vis fixées en des points déterminées des parois.

Dans les anciennes voitures, on a conservé comme éclairage de secours les lampes à pétrole qui étaient montées avec de petits réflecteurs métalliques, soit contre les parois, soit au milieu des cloisons de séparation des compartiments. Le montage de l'éclairage principal et de l'éclairage de secours est exactement le même dans les fourgons que dans les voitures.

Toutes les voitures portent une lampe de 5 bougies fixée sur le plafond de chacune des deux plates-formes. Dans les compartiments, leur éclairage est d'autant plus fort que la classe est plus élevée, les grands de 3e classe fumeurs ont 2 lampes de 10 bougies; les 2e classe fumeurs qui sont un peu moins grands ont également 2 lampes de 10 bougies; les petits compartiments de 3e classe non-fumeurs ont 1 lampe de 10 bougies ; les compartiments de 2e classe non-fumeurs qui sont un peu plus petits ont également 1 lampe de 10 bougies; les petits compartiments de 1re classe ont une lampe de 16 bougies. Enfin les fourgons, portent sur chacune des deux plates-formes 1 lampe de 5 bougies et à l'intérieur 2 ou 3 lampes de 10 bougies suivant leur capacité. Quant aux water-closets, on a jugé inutile de les éclairer.

L'intensité lumineuse totale par véhicule varie entre 30 et 78 bougies suivant le type considéré. Lorsqu'elle ne dépasse pas 58 bougies, on ne fait usage que d'une seule batterie; au delà de ce chiffre on place au milieu et de chaque côté du véhicule 2 coffres à accumulateurs, renfermant 2 batteries semblables alimentant chacune une portion distincte du wagon.

Dans ce cas, les 2 circuits d'éclairage sont commandés par 2 commutateurs d'allumage placés à hauteur de la main et du côté droit, sur la paroi verticale des 2 plates-formes. Ces commutateurs sont renfermés dans des coffrets métalliques fermés ne laissant passer que l'extrémité de l'axe central du levier et portant incrustée une flèche avec la lettre L (Lumière ou Licht). La manœuvre du commutateur est effectuée par la rotation, dans le sens de la flèche pour l'allumage et en sens inverse pour l'extinction, d'une clef à douille spéciale, dite clef de la conférence de Berne, employée d'un commun accord par toutes les compagnies de chemins de fer européennes pour fermer un très grand nombre d'objets. Le public ne peut ainsi toucher à la lumière, tandis qu'à défaut du conducteur du train un agent de chemin de fer quelconque a toujours en poche la clef permettant de manœuvrer en cas de besoin le commutateur d'allumage.

Les lampes à incandescence fonctionnent à la tension de 18 volts et consomment de 2 1/2 à 3 watts par bougie. Elles sont alimentées par des batteries d'accumulateurs d'un type uniforme. Toutes les batteries se composent de 9 éléments en tension de 125 ampères-heure de capacité, ce qui correspond à une somme d'éclairage d'environ 750 bougies-heure d'éclairage. Afin d'être certain que les accumulateurs ne soient jamais épuisés, si par hasard ils se trouvaient obligés de fonctionner plus longtemps que la limite prévue, on ne compte que sur une somme d'éclairage de 640 bougies-heure. On évite ainsi le manque de lumière éventuel, et surtout les détériorations des éléments. En faisant le quotient de ce chiffre par le nombre total de bougies à fournir, on trouve le nombre d'heures d'éclairage que l'on peut demander en toute sécurité à la batterie. Cette durée d'éclairage varie suivant le type de véhicule entre 11 et 21 heures, soit 16 heures en moyenne. Sur la paroi antérieure, formant couvercle peint en noir, de chaque coffre à accumulateurs sont peintes en blanc l'intensité lumineuse que doit fournir la batterie et la durée d'éclairage qu'on peut lui demander. L'inscription suivante par exemple :

$$40 \, \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{B}} \quad 16 \, \frac{\mathrm{St}}{\mathrm{H}}$$

signifie 40 bougies (en allemand *Kerzen*) à alimenter pendant 16 heures (en allemand *Stunden*).

Les coffres à accumulateurs sont fermés par

une serrure s'ouvrant avec la même clef de la conférence de Berne qui sert pour l'allumage des lampes. En s'ouvrant, le couvercle vertical pivote de haut en bas, est arrêté dans la position horizontale et joue en avant du coffre le rôle de plate-forme facilitant l'entrée et la sortie des boîtes d'accumulateurs.

L'intérieur des coffres, qui mesure 700 mm de largeur, 450 mm de profondeur et 350 mm de hauteur, porte de chaque côté (fig. 3) un tasseau en bois b_1b_2, et une règle en laiton a_1a vissée sur une pièce de bois dur d_1d_2 et terminée en biseau à sa partie antérieure afin de faciliter l'entrée des boîtes à accumulateurs. Sous ces 2 lames de laiton qui ont 30 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur sont soudées les extrémités de 2 câbles isolés m et n sortant du coffre par le côté et servant de point de départ de la canalisation de la voiture.

Tous les coffres ont exactement les mêmes dimensions, les boîtes à accumulateurs doivent également avoir toutes les mêmes dimensions de base, 570 mm de largeur et 430 mm de profondeur, quel que soit le fournisseur d'accumulateurs; seule la hauteur varie suivant le système d'éléments employé. Les boîtes en bois qui renferment les 9 accumulateurs d'une batterie sont toutes munies en dessous de 2 bandes de laiton c_1c_2 ayant les mêmes dimensions que les lames a_1a_2 des coffres sur lesquelles on fait reposer la batterie qui se trouve en quelque sorte suspendue par ses deux bouts. Les 2 bandes étant soudées aux 2 fils isolés p_1p_2 (fig. 4) venant des pôles extrêmes de la batterie celle-ci se trouve reliée électriquement à la canalisation de la voiture d'une façon automatique par le seul fait que l'on introduit la boîte à accumulateurs M dans son coffre A. Lorsque la batterie est sortie de son coffre on n'a pas à craindre les courts-circuits entre les 2 bandes métalliques c_1c_2 parce que la boîte A s'appuie alors sur le sol par deux traverses en bois plus élevées q_1q_2 (fig. 4 et 5).

On a d'abord fait usage de boîtes en bois peu élevées M, (120 mm de hauteur) munies latéralement de 2 rebords E_1E_2 (fig. 4) servant de poignées, et portant sur la face antérieure 2 encoches F_1F_2 remplaçant également des poignées de manœuvre. Le couvercle N, très haut, mesurait 200 mm de hauteur et était percé en haut de plusieurs trous destinés

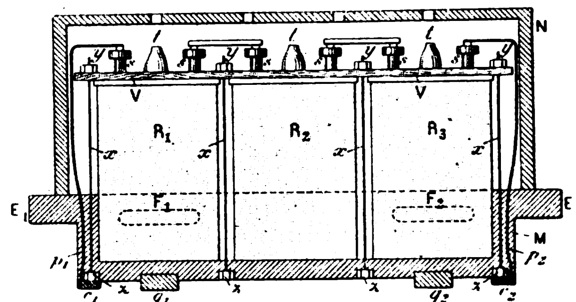


Fig. 4. — Boîte d'accumulateurs, ancien modèle.

au dégagement des gaz. Ce type de boîte a été abandonné parce que la manutention n'en était pas commode; il subsiste encore sur 1/3 des batteries environ, mais on le remplace au fur et à mesure de l'usure par un nouveau type de boîte M beaucoup plus haut (215 mm de hauteur) et portant 2 poignées métalliques latérales G_1G_2 (fig. 5) ainsi que 2

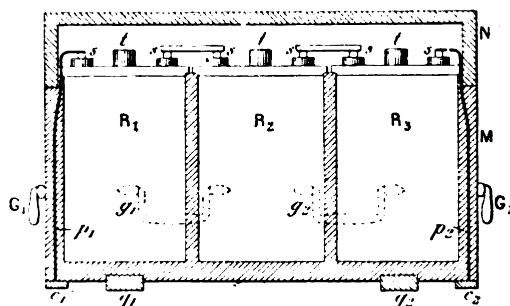


Fig. 5. — Boîte d'accumulateurs, nouveau modèle.

poignées métalliques g_1g_2, disposées en avant. On peut avec ces poignées faire porter beaucoup plus facilement, par 3 hommes, les boîtes à accumulateurs, qui ont toutes à peu près le même poids, de 120 à 130 kg, quel que soit le système d'accumulateurs qu'elles renferment.

La solution adoptée par le Jura-Simplon, d'employer une batterie de neuf éléments

réunis en une seule boite rend l'installation des accumulateurs très simple et très économique. D'abord on n'a besoin de fixer sous la voiture qu'un seul coffre, et la fixation solide des coffres sous la caisse du véhicule coûte assez cher. En second lieu on fait une économie notable sur les accumulateurs en prenant un nombre restreint de gros éléments qui revient moins cher qu'un plus grand nombre d'éléments plus petits. Par contre, avec la faible tension de 18 volts, les lampes à incandescence coûtent un peu cher et surtout sont très difficiles à obtenir exactement étalonnées. D'autre part, en mettant tous les accumulateurs dans une seule boite on est arrivé à un poids tel que le maniement des batteries, sans présenter de difficultés sérieuses, n'est pourtant pas très aisé. Il vaut mieux, surtout lorsque les manœuvres doivent être faites très rapidement, adopter une tension un peu plus forte, 24 ou 32 volts, et diviser la batterie en deux ou trois boîtes. On rend, il est vrai, l'installation un peu plus coûteuse, mais en revanche on a des lampes d'une fabrication beaucoup plus facile et des boîtes d'accumulateurs plus légères, qui peuvent être manœuvrées beaucoup plus rapidement et plus commodément parce que deux hommes suffisent alors à leur transport.

Jusqu'en 1894 on n'a employé qu'un seul type d'accumulateur fourni par l'usine de Marly près Fribourg; 500 batteries de ce modèle sont actuellement en fonctionnement régulier. On a mis en service en 1894 à titre d'essai, 25 batteries fabriquées par l'usine d'Œrlikon; les essais ayant donné de bons résultats, ce nombre a été porté en 1895 à 150 batteries. On a mis également en service, à titre d'essai, à la fin de 1895, 25 batteries de la Société germano-suisse de Fribourg. L'effectif total des accumulateurs est donc actuellement de *675 batteries*.

Tous les accumulateurs employés ont le même nombre de plaques : 5 positives et 6 négatives. Le poids total des plaques est d'environ 72 kg pour la batterie entière, soit 8 kg par élément, aussi bien pour les accumulateurs d'Œrlikon que pour ceux de Marly; les accumulateurs de la Société germano-suisse ont des plaques un peu plus légères, d'où un poids brut de la batterie sensiblement moindre. Les éléments de Marly et d'Œrlikon se ressemblent beaucoup. Ce sont tous deux des accumulateurs genre Faure à pastilles rapportées, mais la forme des pastilles diffère légèrement : celles de Marly sont carrées (5,5 mm de côté), et percées d'un trou de 2 mm, celles d'Œrlikon sont triangulaires (9,5 mm de côté) et pleines. Les plaques Œrlikon sont aussi larges que celles de Marly mais un peu plus hautes et un peu moins épaisses; les dimensions des deux types sont :

Marly : largeur 140 mm, hauteur 155 mm, épaisseur 4,8 mm;

Œrlikon : largeur 140 mm, hauteur 182 mm, épaisseur 4 mm.

Les deux types d'accumulateurs ont été établis spécialement en vue d'obtenir une grande légèreté; les plaques sont relativement minces et donnent par conséquent une grande capacité spécifique, environ 15 ampères-heure par kg de plaques. Les récipients sont également très légers; les plaques de trois éléments sont logées dans un seul bac R (fig. 4 et 5) en ébonite à trois compartiments, muni d'un couvercle également en ébonite. On coule une sorte d'arcanson sur les bords du couvercle et au passage des électrodes au travers des manchons S en ébonites ; le couvercle est hermétiquement clos à l'exception de trois petites cheminées en ébonite *t* correspondant au centre de chaque élément et percées d'un trou fin. On obtient ainsi une étanchéité complète des accumulateurs, qui est absolument nécessaire, car si la plus petite quantité d'eau acidulée pouvait s'échapper, les contacts des éléments entre eux d'abord, et ensuite les contacts extérieurs seraient bien vite défectueux et détériorés. La fermeture efficace des bacs est un point important à considérer dans les accumulateurs transportables destinés à des véhicules de chemin de fer qui sont soumis à des heurts violents pouvant causer des mouvements de projection du liquide.

Les plaques des éléments Œrlikon reposent sur deux peignes verticaux entretoisés, en ébonite, les maintenant à l'écartement voulu et laissant un espace vide de 20 mm de hauteur au fond du bac; en outre une feuille d'ébonite ajourée de 0,5 mm d'épaisseur est placée entre les plaques. Les jonctions sont établies entre les éléments par des lames de plomb soudées. Ce mode de connexion oblige à couper et à ressouder ensuite les lames de plomb lorsqu'on veut examiner un élément, mais c'est le seul qui ait été reconnu pratique.

Les plaques Marly n'ont d'abord été maintenues séparées que par deux tasseaux inférieurs en ébonite crénelés et par des feuilles en carton perforées de 1 mm d'épaisseur; les connexions étaient établies au début par des fils de cuivre rouge de 4 mm de diamètre, soudés sur les électrodes, puis vernis. On a constaté que les plaques pouvaient se fausser et que les fils de connexion se trouvaient quelquefois brisés net par les chocs. Aussi remplace-t-on ce montage des plaques par celui d'Œrlikon chaque fois que l'on a l'occasion de démonter un des accumulateurs Marly non encore muni de ce dernier.

On enlève également toutes les fois qu'on le peut, nous l'avons vu plus haut, les batteries Marly de leurs anciennes boîtes protectrices pour les mettre dans des boîtes nouveau modèle dont sont munies toutes les batteries Œrlikon. Ce dernier type de boîte diffère du premier, non seulement par le système de poignées, mais aussi par le mode de montage des bacs à accumulateurs dans l'intérieur de la boîte. Les boîtes ancien modèle ne formaient qu'un seul compartiment (fig. 4) dans lequel les trois bacs R_1 R_2 R_3, de trois éléments chacun, étaient placés avec un intervalle de 12 mm entre deux bacs voisins. Les accumulateurs étaient ensuite fortement assujettis à l'aide de quatre traverses horizontales V posées sur le bac R et de seize tiges x serrées à écrou, en haut y sur les traverses, en bas z dans l'épaisseur de la boîte. Ce montage a été abandonné parce qu'il était beaucoup trop compliqué : lorsqu'on voulait sortir un bac de la boîte il fallait dévisser seize écrous, ce qui demandait beaucoup de temps. On a reconnu que les trois bacs d'une batterie étaient maintenus tout aussi solidement dans les boîtes nouveau modèle (fig. 5), plus hautes que les anciennes et qui se composent simplement de trois compartiments dans lesquels les bacs s'emboîtent exactement sans aucune pièce de fixation.

Les 25 batteries de la Société germano-suisse sont placées dans des boîtes protectrices nouveau modèle. Quant aux accumulateurs du système Theryc-Oblasser construits par cette nouvelle Société installée en 1896 à Fribourg, ils ont été décrits récemment dans le journal [1]; il nous suffira de rappeler qu'ils sont fabriqués en France sous le nom d'accumulateurs Fulmen et qu'ils se composent d'un quadrillage très mince en plomb placé au centre d'une enveloppe en celluloïd transparent perforée de trous de 0,8 mm, recouverte intérieurement d'une feuille de feutre d'amiante et enfin remplie de poudre d'oxyde de plomb.

Le service de l'éclairage proprement dit est confié aux conducteurs des trains ou agents de l'exploitation. Ce service est extrêmement simple, car le conducteur n'a qu'à tourner le commutateur d'allumage pour allumer et éteindre les lampes aux heures prescrites. Il n'a pas à s'inquiéter de la durée d'éclairage déjà fournie ou à fournir par la batterie. Les lampes étant toujours alimentées par les neuf éléments de la batterie et sans l'interposition d'aucun rhéostat le conducteur n'a pas besoin, comme c'est le cas dans quelques compagnies, de tourner un commutateur pour relever la tension aux lampes après un nombre d'heures égal à la moitié de la durée totale d'éclairage que doit fournir la batterie. En pratique, la tension de la batterie et par suite l'intensité lumineuse des lampes restent suffisamment constantes pendant toute la durée

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 217, 31 octobre 1896.

de fonctionnement de la batterie. En effet on ne demande normalement aux accumulateurs, d'après les inscriptions servant de guide au personnel, que 640 bougies-heure alors qu'ils peuvent en fournir 750; on les retire même souvent avant l'écoulement complet des heures indiquées, de sorte qu'à la fin de l'utilisation, la tension de la batterie n'est jamais inférieure, sauf dans des cas exceptionnels, à 17,1 volts. Ceci ne représente qu'une chute de tension de 0,9 volt ou 5 p. 100, presque inappréciable aux lampes.

Il est interdit aux conducteurs de toucher aux accumulateurs; la mise en place, le remplacement et le rechargement des batteries, qui feront l'objet d'un prochain article, sont effectuées par des agents appartenant au service du matériel roulant.

(A suivre.)

CH. JACQUIN.

LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE SUR LA SURFACE D'UN ANNEAU

Dans son mémoire classique sur la distribution électrique sur la surface d'un anneau, M. Charles Neumann donne la solution complète du problème mentionné, après avoir obtenu de ses formules générales les expressions des intégrales de l'équation de Laplace, qui sont finies, soit pour les points situés à l'intérieur d'un anneau, soit pour les points de l'espace extérieur.

Nous essayons ici de déduire les mêmes expressions par une voie différente en utilisant pour chaque classe des intégrales des considérations spéciales. Outre cela nous donnons la solution du même problème, et aussi nous l'obtenons par une voie différente de celle de M. Neumann. Nous osons publier nos recherches, car il nous semble que tout moyen nouveau, servant à traiter le sujet, qui est considéré dans le travail de M. Neumann sous un autre point de vue, peut rendre plus claires et plus accessibles à un plus grand nombre de personnes les résultats importants de ce remarquable mémoire.

LES COORDONNÉES PÉRIPOLAIRES ET LA TRANSFORMATION DE L'ÉQUATION $\Delta W = 0$.

Avant de parler de notre solution du problème, ainsi que de notre mode de calcul des intégrales, nous devons récapituler, en résumé, les résultats de M. Neumann en ce qui concerne les coordonnées péripolaires et sa méthode élégante de la transformation de l'équation de Laplace.

Les coordonnées péripolaires. — Prenons sur l'axe des abscisses deux points A et B

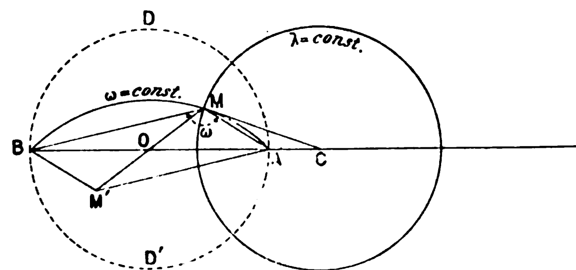


Fig. 1.

(fig. 1) à distances égales de l'origine O des coordonnées, à gauche et à droite, et posons

$$AB = 2\,OA = 2a. \qquad (1)$$

Prenons encore un point M ayant l'ordonnée positive, et désignons par ω l'angle AMB, c'est-à-dire posons

$$AMB = \omega. \qquad (2)$$

L'équation

$$\omega = \text{const}, \qquad (3)$$

donne la partie située au-dessus des abscisses de la circonférence menée par trois

points A, M, B. Pour le point M′, à ordonnée négative, posons

$$AM'B = 2\pi - \omega, \qquad (2')$$

Alors les valeurs $\omega = \frac{\pi}{2}$ et $\omega = \frac{3\pi}{2}$ correspondent aux demi-circonférences D et D′ ayant la ligne AB pour diamètre ; la valeur $\omega = \pi$ correspond à cette ligne même. Pour $\pi > \omega > \frac{\pi}{2}$ nous avons les points situés à l'intérieur du cercle limité par la circonférence D D′ au-dessus de l'axe des abscisses; pour $\pi < \omega < \frac{3\pi}{2}$ les points situés au-dessous du même axe dans le cercle nommé. Les valeurs $\omega < \frac{\pi}{2}$ et $\omega > \frac{3\pi}{2}$ correspondent aux points du plan extérieur. Enfin pour

$$\omega = 0, \quad \text{et} \quad \omega = 2\pi,$$

nous avons la prolongation de la ligne AB au delà des points A et B et les branches infiniment éloignées.

Posons

$$\frac{MA}{MB} = \lambda. \qquad (4)$$

L'équation

$$\lambda = \text{const.} \qquad (5)$$

donne aussi une circonférence, comme on le sait par la théorie des images électriques de sir W. Thomson.

En effet, prenons sur l'axe des abscisses le point C tel que la relation

$$MC^2 = CA.CB, \qquad (6)$$

soit satisfaite. Nous aurons alors deux triangles semblables AMC et BMC, ce qui donne

$$CM : AC = MB : MA; \qquad (7)$$

si

$$\lambda = \text{const},$$

on a

$$CM = \text{const}, \qquad (8)$$

c'est-à-dire que le point M est situé sur la circonférence ayant son centre en C.

La relation

$$CA.CB = CM^2,$$

montre que le rayon CM est la tangente à la circonférence, menée par les points M, A et B. Les circonférences exprimées par les équations ω = const. et λ = const. forment donc un système orthogonal.

Pour $\lambda = 0$ nous avons le point A; pour $0 < \lambda < 1$ nous avons les circonférences situées à droite de l'axe des ordonnées; pour $\lambda = 1$... cet axe même ainsi que les branches infiniment éloignées. Considérons seulement la moitié du plan limité par l'axe des ordonnées. Alors nous devons prendre pour λ des valeurs entre zéro et l'unité; l'équation ω = const. n'exprimera pas alors la partie AMB de la circonférence située au-dessus de l'axe des abscisses, mais seulement la moitié de cette ligne.

Tournons à présent notre plan en prenant l'axe des ordonnées pour l'axe de rotation. Alors toutes les lignes, exprimées par l'équation λ = const., décriront les surfaces des anneaux. Le point A décrira une circonférence, que nous nommons polaire.

Appelons φ l'angle de rotation. Les grandeurs ω, λ et φ déterminent complètement les points compris dans tout l'espace.

M. Charles Neumann les nomme coordonnées péripolaires.

Détermination de λ *et* a *pour un anneau donné.* — Un anneau est donné dont la section méridienne est une circonférence de rayon r ayant son centre C sur une circonférence de rayon R. Le centre O de cette dernière circonférence est le point central de l'anneau (centre de gravité).

Soient A et B les points d'intersection du méridien donné avec la circonférence polaire.

Nous avons

$$AC = \lambda^2 CB = \lambda^2 (AB + CA).$$

Donc

$$CA = \frac{\lambda^2 AB}{1 - \lambda^2}.$$

Si

$$AB = 2a,$$

nous avons

$$CA = \frac{2a\lambda^2}{1 - \lambda^2}. \qquad (9)$$

D'où nous obtenons

$$R = CO = a + \frac{2a\lambda^2}{1-\lambda^2} = \frac{1+\lambda^2}{1-\lambda^2}a. \quad (10)$$

Comme

$$r : CA = 1 : \lambda,$$

nous avons

$$r = \frac{2a\lambda}{1-\lambda^2}. \quad (11)$$

Les formules (10) et (11) nous donnent

$$a^2 = R^2 - r^2, \quad (12)$$

c'est-à-dire que le rayon de la circonférence polaire est égal à la tangente menée du centre O à la section méridionale.

Outre cela nous avons

$$R + r = \frac{(1+\lambda)^2}{1-\lambda^2}a = \frac{1+\lambda}{1-\lambda}a,$$

et

$$(R+r)(1-\lambda) = (1+\lambda)a.$$

D'où

$$\lambda = \frac{R+r-a}{R+r+a} = \frac{\sqrt{R+r} - \sqrt{R-r}}{\sqrt{R+r} + \sqrt{R-r}}. \quad (13)$$

Etant donnés R et r on détermine à l'aide des formules (12) et (13) les grandeurs a et λ.

Relations entre les coordonnées péripolaires et les coordonnées cylindriques.— Prenons le plan de la figure 1 pour plan d'un méridien. Nommons ρ et z les coordonnées cylindriques. Nous avons

$$AB^2 = MA^2 + MB^2 - 2\,MA\;MB.\cos AMB,$$

ce qui donne

$$4a^2 = MB^2(\lambda^2 + 1 - 2\lambda\cos\omega).$$

D'où

$$MB = \frac{2a}{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}, \quad (14_1)$$

$$MA = \lambda MB = \frac{2a\lambda}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}. \quad (14_2)$$

Menons $AM' = BM$, $BM' = MA$

Alors

$$AM' = BM, \quad OM' = OM, \quad MAM' = \pi - \omega,$$
$$MM'^2 = 4\,OM^2 = AM^2 + AM'^2 - 2\,MA.MA' \cos MAM'$$

c'est-à-dire

$$4\,OM^2 = AM'^2(\lambda^2 + 1 + 2\lambda\cos\omega).$$

Nous obtenons enfin

$$OM^2 = \frac{BM^2}{4}(1 + 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)$$
$$= a^2\frac{1+2\lambda\cos\omega+\lambda^2}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}. \quad (15)$$

Calculons ρ.

Nous avons

$$\rho = OM.\cos MOA,$$
$$AM^2 = OM^2 + OA^2 - 2\,OM.OA\cos MOA.$$

Comme

$$OA = a,$$

nous avons

$$2\rho.a = 2\,OA.OM\cos MOA = OM^2 + OA^2 - AM^2.$$

A l'aide des équations (14_2) et (15), nous obtenons

$$2a\rho = \frac{1+2\lambda\cos\omega+\lambda^2}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}a^2 + a^2 - \frac{4a^2\lambda^2}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}$$
$$= \frac{2(1+\lambda^2)a^2 - 4a^2\lambda^2}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}.$$

En résultat nous avons

$$\rho = \frac{1-\lambda^2}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}a. \quad (16)$$

Calculons z

Pour l'aire du triangle B M A nous avons deux expressions

1) $\frac{1}{2}AB.z = az,$

2) $\frac{1}{2}MA.MB.\sin\omega.$

Les relations (14_1), et (14_2) nous donnent

$$az = \frac{2a^2\lambda\sin\omega}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2} \quad \text{et} \quad z = \frac{2\lambda\sin\omega}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2} \quad (17)$$

Réciproquement nous pouvons exprimer les coordonnées péripolaires à l'aide des coordonnées cylindriques.

En effet

$$\lambda = \frac{MA}{MB} = \frac{\sqrt{(\rho-a)^2+z^2}}{\sqrt{(\rho+a)^2+z^2}}; \quad (18_1)$$

$$\frac{1}{2}MA.MB.\sin\omega = az,$$

***

et

$$\sin \omega = \frac{2 a \zeta}{\sqrt{(\rho - a)^2 + \zeta^2}\sqrt{(\rho + a)^2 + \zeta^2}}. \qquad (18_2)$$

Les formules (18_1) et (18_2) peuvent être représentées par une seule formule

$$\lambda e^{i\omega} = \frac{\rho - a + i\zeta}{\rho + a + i\zeta}. \qquad (19)$$

Nous pouvons encore écrire

$$\rho + i\zeta = a \frac{1 + \lambda e^{i\omega}}{1 - \lambda e^{i\omega}}. \qquad (20)$$

Calculons les dérivés $\frac{\partial \lambda}{\partial \zeta}, \frac{\partial \lambda}{\partial \rho}, \frac{\partial \omega}{\partial \zeta}, \frac{\partial \omega}{\partial \rho}$ en considérant les grandeurs ρ et ζ comme variables indépendantes. En différentiant l'équation (20) par rapport à ρ nous obtenons

$$1 = 2a \frac{e^{i\omega}}{(1 - \lambda e^{i\omega})^2}\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \rho} + i\lambda \frac{\partial \omega}{\partial \rho}\right)$$
$$= \frac{2 a e^{i\omega}(1 - \lambda e^{-i\omega})^2}{(1 - 2\lambda \cos\omega + \lambda^2)^2}\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \rho} + i\lambda \frac{\partial \omega}{\partial \rho}\right) =$$
$$= \frac{2a(e^{i\omega} - 2\lambda + \lambda^2 e^{-i\omega})}{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2}\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \rho} + i\lambda \frac{\partial \omega}{\partial \rho}\right). \qquad (21)$$

En séparant les parties réelles et imaginaires nous avons

$$\frac{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2}{2a} = \left(\cos\omega(1 + \lambda^2) - 2\lambda\right)\frac{\partial \lambda}{\partial \rho}$$
$$- (1 - \lambda^2)\sin\omega . \lambda \frac{\partial \omega}{\partial \rho}, \qquad (22_1)$$

$$0 = (1 - \lambda^2)\sin\omega \frac{\partial \lambda}{\partial \rho} + \left(\cos\omega(1 + \lambda^2) - 2\lambda\right)\lambda \frac{\partial \omega}{\partial \rho}. \qquad (22_2)$$

Le déterminant des coefficients

$$\left(\cos\omega(1 + \lambda^2) - 2\lambda\right)^2 + (1 - \lambda^2)^2 \sin^2\omega,$$

est égal à

$$(1 + 2\lambda^2 + \lambda^2)\cos^2\omega - 4\lambda(1 + \lambda^2)\cos\omega + 4\lambda^2$$
$$+ (1 - 2\lambda^2 + \lambda^4 \sin^2\omega,$$

ou à

$$(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2,$$

Donc

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \rho} = \frac{\cos\omega(1 + \lambda^2) - 2\lambda}{2a}, \qquad (23_1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \rho} = \frac{-(1 - \lambda^2)\sin\omega}{2a\lambda}. \qquad (23_2)$$

La différenciation de l'équation (20) par rapport à ζ donne une relation semblable à (21), mais ayant dans sa première partie i au lieu de 1. On obtient alors

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \zeta} = \frac{(1 - \lambda^2)\sin\omega}{2a}, \qquad (24_1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \zeta} = \frac{\cos\omega(1 + \lambda^2) - 2\lambda}{2a\lambda}. \qquad (24_2)$$

Nous avons déduit des relations (23) et (24) pour les utiliser dans notre mode de solution du problème posé. M. Neumann ne les donne pas.

Donnons encore l'expression du différentiel de l'arc en coordonnées péripolaires.

Nous avons en vertu de la relation (20)

$$\frac{\partial \rho}{\partial \lambda} + i\frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} = \frac{2ae^{i\omega}}{(1 - \lambda e^{i\omega})^2}, \qquad (25_1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \omega} + i\frac{\partial \zeta}{\partial \omega} = \frac{2aie^{i\omega}}{(1 - \lambda e^{i\omega})^2}. \qquad (25_2)$$

Prenons $-i$ au lieu de i; alors

$$\frac{\partial \rho}{\partial \lambda} - i\frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} = \frac{2ae^{-i\omega}}{(1 - \lambda e^{-i\omega})^2}, \qquad (25_3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \omega} - i\frac{\partial \zeta}{\partial \omega} = \frac{-2ai\lambda e^{-i\omega}}{(1 - \lambda e^{-i\omega})^2}. \qquad (25_4)$$

En multipliant les équations (25_1) et (25_3) nous obtenons

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \lambda}\right)^2 = \frac{4a^2}{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2}. \qquad (26_1)$$

En multipliant (25_2) et (25_4), nous avons

$$\left(\frac{\partial e}{\partial \omega}\right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \omega}\right)^2 = \frac{4a^2\lambda^2}{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2}. \qquad (26_2)$$

Enfin les équations (25_1) et (25_4) nous donnent

$$\frac{\partial \rho}{\partial \rho}\frac{\partial \rho}{\partial \omega} + \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda}\frac{\partial \zeta}{\partial \omega} = 0, \qquad (26_3)$$

ce qui doit avoir lieu, parce que nous avons le système orthogonal de coordonnées.

Au lieu des relations (26_1), (26_2) (26_3), on peut écrire

$$d\rho^2 + d\zeta^2 = \frac{4a^2}{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^2}(d\lambda^2 + \lambda^2 d\omega^2); \qquad (27_1)$$

si nous posons

$$\delta = -\log \lambda, \tag{28}$$

nous avons

$$d\delta = \frac{-d\lambda}{\lambda}, \tag{29}$$

et

$$d\rho^2 + d\zeta^2 = \frac{4a^2\lambda^2}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^2}(d\delta + d\omega^2). \tag{27$_2$}$$

Les formules précédentes nous permettent d'obtenir l'expression suivante du carré ds^2 d'un élément de l'arc

$$ds^2 = d\rho^2 + d\zeta^2 + \rho^2 d\varphi^2 = \frac{4a^2\lambda^2}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^2}(d\theta^2 + d\omega^2) + \frac{a^2(1-\lambda)^2 d\varphi^2}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^2}. \tag{30}$$

La transformation de l'équation $\Delta W = 0$ *en coordonnées péripolaires.* — Pour la transformation de l'équation $\Delta W = 0$, M. Ch. Neumann profite du théorème suivant de M. Jacobi.

Si l'on a un système orthogonal des coordonnées λ, μ, ν, de manière qu'on ait

$$dx^2 + dy^2 + d\zeta^2 = L^2 d\lambda^2 + M^2 d\mu^2 + N^2 d\nu^2,$$

on peut écrire la relation suivante

$$LMN\Delta W = \frac{\partial}{\partial\lambda}\left(\frac{MN}{L}\frac{\partial W}{\partial\lambda}\right) + \frac{\partial}{\partial\mu}\left(\frac{NL}{M}\frac{\partial W}{\partial\mu}\right) + \frac{\partial}{\partial\nu}\left(\frac{LM}{N}\frac{\partial W}{\partial\nu}\right). \tag{31}$$

On peut écrire l'équation (30) ainsi

$$ds^2 = \theta^2 d\delta^2 + \Omega^2 d\omega^2 + \Phi^2 d\varphi^2.$$

On doit poser ici

$$\theta = \Omega = \frac{2a\lambda}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2},$$

$$\Phi = \rho = \frac{(1-\lambda^2)a}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}.$$

D'où l'on obtient

$$\frac{\theta\Phi}{\Omega} = \frac{\Omega\Phi}{\theta} = \Phi = \rho,$$

$$\frac{\theta\Omega}{\Phi} = \frac{4\lambda^2}{1-\lambda^2}\;\frac{a}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2} = \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\rho.$$

Donc l'équation (31) nous donne

$$\frac{4a^3\lambda^2(1-\lambda^2)}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^3}\Delta W = \frac{\partial}{\partial\delta}\left(\rho\frac{\partial W}{\partial\delta}\right) + \frac{\partial}{\partial\omega}\left(\rho\frac{\partial W}{\partial\omega}\right) + \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\rho\frac{\partial^2 W}{\partial\varphi^2}. \tag{32}$$

M. Ch. Neumann prend

$$W\sqrt{\rho} = V, \tag{33}$$

et par suite

$$\rho\frac{\partial W}{\partial\delta} = \sqrt{\rho}\frac{\partial V}{\partial\delta} - \frac{V}{2\sqrt{\rho}}\frac{\partial\rho}{\partial\delta},$$

$$\rho\frac{\partial W}{\partial\omega} = \sqrt{\rho}\frac{\partial V}{\partial\omega} - \frac{V}{2\sqrt{\rho}}\frac{\partial\rho}{\partial\omega}.$$

Par conséquent

$$\frac{\partial}{\partial\delta}\left(\rho\frac{\partial W}{\partial\delta}\right) + \frac{\partial}{\partial\omega}\left(\rho\frac{\partial W}{\partial\omega}\right) = \sqrt{\rho}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial\delta^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial\omega^2}\right) + \frac{1}{4}\frac{V}{\rho^{3/2}}\left[\left(\frac{\partial\rho}{\partial\delta}\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\omega}\right)^2\right] - \frac{V}{2\sqrt{\rho}}\left(\frac{\partial^2\rho}{\partial\delta^2} + \frac{\partial^2\rho}{\partial\omega^2}\right) \tag{34}$$

Comme

$$\delta = -\log\lambda, \quad \text{et} \quad \lambda e^{i\omega} = e^{-\delta + i\omega},$$

on voit, en vertu de l'équation (20), que $\rho + i\zeta$ est une fonction de $-\delta + i\omega$. On doit, d'après la théorie des variables imaginaires, avoir

$$\frac{\partial\rho}{\partial\delta} = \frac{\partial\zeta}{\partial\omega}, \qquad \frac{\partial^2\rho}{\partial\delta^2} + \frac{\partial^2\rho}{\rho\omega^2} = 0.$$

Donc le multiplicateur de $\frac{V}{4\rho^{3/2}}$ est égal à

$$\left(\frac{\partial\zeta}{\partial\delta}\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\omega}\right)^2,$$

c'est-à-dire à $\frac{4a^2\lambda^2}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^2}$ en vertu de l'équation (26_2).

L'équation (32) nous donne

$$\frac{4a^3\lambda^2(1-\lambda^2)}{(1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2)^3}\Delta W = \sqrt{\rho}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial\delta^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial\omega^2}\right) + \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\rho\frac{\partial^2 W}{\partial\varphi^2} + \frac{V}{4\rho^{3/2}}\frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\rho^2.$$

ou

$$\frac{4\lambda^2\rho^3}{(1-\lambda^2)^3}\Delta W = \sqrt{\rho}\left(\frac{\partial^2(W\sqrt{\rho})}{\partial\delta^2} + \frac{\partial^2(W\sqrt{\rho})}{\partial\omega^2}\right) + \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\rho\left(\frac{\partial^2 W}{\partial\varphi^2} + \frac{W}{4}\right). \tag{35}$$

L'équation de Laplace

$$\Delta W = 0.$$

doit donc être écrite en coordonnées péripolaires sous la forme suivante.

$$\frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial \delta^2} + \frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial \omega^2}$$

$$+ \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2} \left(\frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial \varphi^2} + \frac{W\sqrt{\rho}}{4} \right) = 0. \quad (36)$$

Ici on peut remplacer

$$\frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial \delta^2},$$

par la somme suivante

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial \lambda^2} + \lambda \frac{\partial (W\sqrt{\rho})}{\partial \lambda},$$

ce qui donne la relation $d\,\delta = \frac{d\lambda}{\lambda}$.

(*A suivre.*)

N. Boulgakoff
Privat-docent de l'Université de Saint-Pétersbourg.

TURBINES A VAPEUR PARSONS

Trois communications de l'Hon. Charles-Algernon Parsons à l'Engineering conférence de l'Institution of civils engineers, de Londres, ainsi que les résultats des récents essais du *Turbinia*, vapeur à neuf hélices mues par des turbines de ce constructeur, ramènent l'attention sur l'emploi industriel des turbines à vapeur en général et des turbines Parsons en particulier.

Ces turbines sont bien connues des électriciens et les lecteurs de *La Lumière Électrique* n'ont pas dû oublier les descriptions illustrées qui ont été données dans ce journal du turbo-générateur électrique Parsons, dont le premier modèle remonte à 1884. Une description sommaire n'en sera peut-être pas moins utile.

Les turbines Parsons sont de deux types : le type à circulation de vapeur parallèle à l'axe de rotation, le plus ancien et le plus employé, et le type à circulation radiale, se divisant lui-même en turbines centripètes et turbines centrifuges.

Toutes ces turbines sont constituées par des couronnes d'ailettes alternativement tournantes et fixes ; la vapeur passe de l'une à l'autre et met en marche les couronnes tournantes calées sur l'arbre de rotation. Dans les premiers modèles toutes les couronnes avaient le même diamètre et l'expansion de la vapeur s'obtenait uniquement en variant la profondeur et le pas des ailettes. Cette disposition amenait une mauvaise utilisation de la force expansive de la vapeur et par suite entraînait une grande dépense de vapeur par unité de travail produite. Pour éviter cet inconvénient capital, M. Parsons ne tarda pas à imaginer son modèle compound, constitué par deux ou trois turbines juxtaposées sur un même axe et dont les diamètres vont progressivement en augmentant depuis celle qui reçoit en premier lieu la vapeur de manière que la détente de la vapeur soit complète.

La figure 1 donne la coupe d'un turbo-moteur à circulation parallèle d'un récent modèle. La vapeur admise par la valve A, réglée par le régulateur à force centrifuge R, arrive en J, traverse successivement les turbines A, B et C de diamètres croissants et par G s'échappe à l'air libre ou se rend dans le condenseur. Les ailettes tournantes *t* sont taillées avec inclinaison à droite et à gauche sur la partie extérieure d'une série de disques en bronze serrés et fixés par des clavettes sur l'arbre moteur; les disques extrêmes forment écrous vissés sur l'arbre et serrent les autres entre eux. Les ailettes directrices fixes sont taillées avec inclinaison en sens opposé, sur

la partie intérieure de rondelles en bronze d'un diamètre plus grand, coupées par moitié et fixées dans la jante. Pour diminuer les fuites intérieures et forcer toute la vapeur à traverser successivement tous les disques, les pièces tournantes sont ajustées avec la plus grande précision, de manière à ne laisser que le jeu strictement nécessaire pour éviter le frottement.

D'autre part comme la vapeur en traversant les disques tournants tend à presser ceux-ci parallèlement à l'axe de rotation contre les rondelles directrices, il importe d'équilibrer cette poussée. C'est à quoi servent les tambours D, E, F clavetés sur l'axe et dont les diamètres sont respectivement égaux à ceux des trois turbines A, B, C dont l'ensemble forme la turbine compound : les deux faces du tambour D sont respectivement soumises à la pression de la vapeur arrivant en J et,

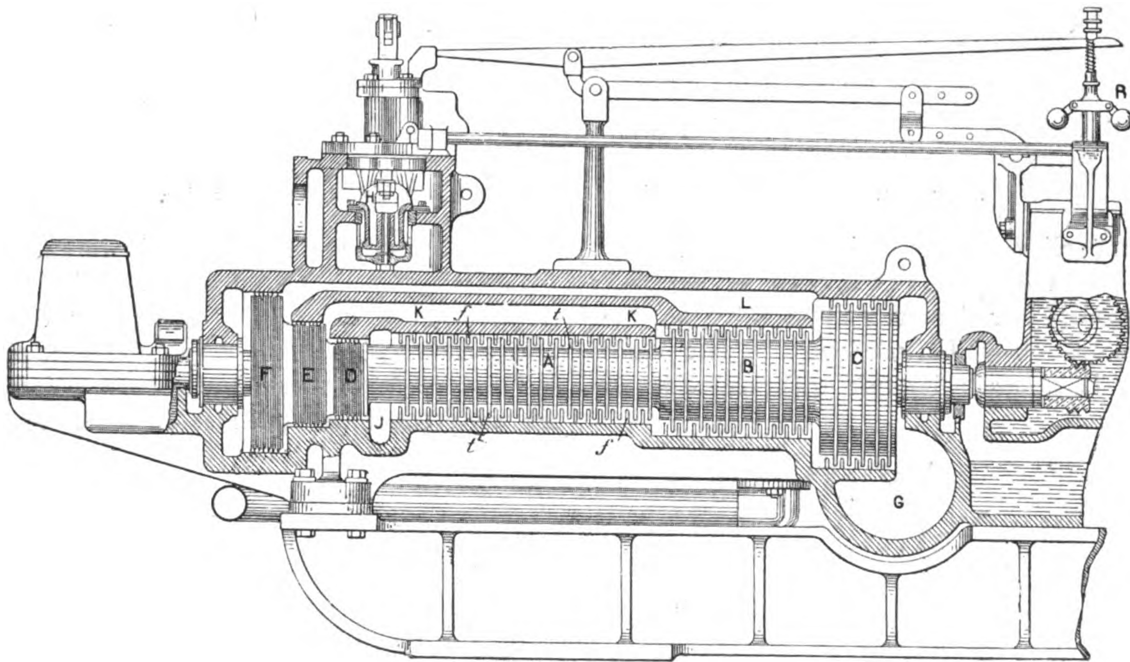


Fig. 1. — Coupe longitudinale d'une turbine Parsons à circulation parallèle.

par le conduit K, à celle de la vapeur qui a traversé la première turbine de sorte que la différence de ces pressions compense la poussée longitudinale sur A ; de même les pressions exercées sur les deux faces F par la vapeur arrivant par les conduits K et L équilibrent la poussée exercée sur B ; enfin F dont les deux faces sont pressées par la vapeur avant son entrée (par *t*) et après sa sortie (par un canal non visible sur la figure) de la turbine C, équilibre la poussée qu'éprouve celle-ci. La surface de chacun de ces tambours est garnie de nervures circulaires s'emboîtant dans les rainures correspondantes de l'enveloppe de manière à empêcher le passage de la vapeur le long de cette surface.

La turbine radiale centripète est représentée, d'après le brevet pris en 1891, par les figures 2 et 3. La vapeur arrivant en J traverse successivement les deux turbines A et B. Chacune de celle-ci est formée de couronnes directrices creuses *f*, à l'intérieur desquelles se meuvent les roues mobiles *t*, munies d'ailettes *a* visibles sur la coupe transversale. Après avoir agi sur une des roues mobiles la vapeur s'épanouit sur la face gauche d'une couronne directrice, pénètre dans l'espace annulaire S (fig. 3) compris entre la surface latérale de la couronne et l'enveloppe à laquelle elle est fixée, et s'engage dans les

canaux distributeurs qui la dirigent, en un flux centripète, sur les aubes réceptrices. Comme il n'y a pas de poussée latérale sur celles-ci les tambours compensateurs sont inutiles.

La figure 4 donne, d'après le brevet de 1891, la coupe longitudinale de la turbine radiale centrifuge. La vapeur arrivant en J, se répand entre les directrices de la couronne fixe *f* et agit sur les angles du disque tournant *t*; elle passe successivement dans les couronnes et disques suivants en se détendant et se rend par G dans l'atmosphère ou dans un condenseur. Un tambour D sert à équilibrer la poussée latérale qu'éprouve la turbine A.

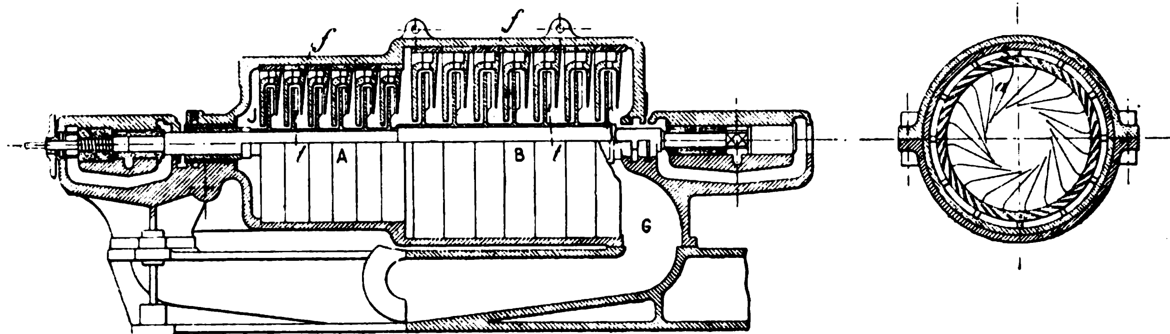


Fig. 2 et 3. — Coupes longitudinale et transversale d'une turbine Parsons centripète.

La pression de la vapeur alimentant ces divers modèles de turbines peut varier dans de larges limites, de 3 à 12 kg par centimètre carré; plus la pression est élevée, plus la quantité de vapeur dépensée par unité de travail produit est faible et dans des essais récents auxquels M. Parsons faisait allusion dans une de ses communications à l'Engineering Conference il a été reconnu que cette économie de vapeur s'accentuait aux très hautes pressions.

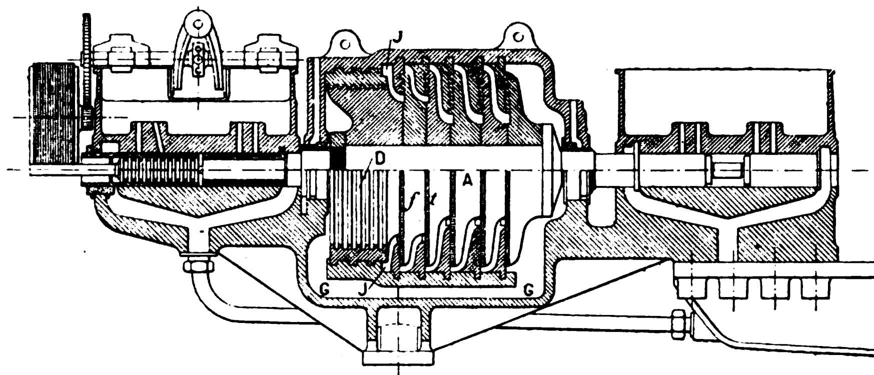


Fig. 4. — Coupe longitudinale d'une turbine Parsons centrifuge.

Les modèles récents sont munis de condenseurs, à surface ou à injection, qui diminuent encore la consommation de vapeur. Ces condenseurs sont généralement montés sur le même bâti que la turbine, laquelle met en mouvement leurs pompes à air et à eau.

A cause de la grande vitesse angulaire de l'arbre de ces turbines les coussinets et paliers, d'une construction spéciale d'ailleurs, doivent être abondamment lubrifiés; pour cela l'huile est mise en circulation continue au moyen d'une petite pompe mue par la turbine elle-même; dans les grands modèles les boîtes à huile sont étanches et l'huile est sous pression; de plus elle est constamment refroidie par son passage dans un serpentin entouré d'eau.

La commande des dynamos à grande vitesse a été la première application de ce genre de moteurs. Toutefois ils s'appliquent fort bien à la mise en marche des ventilateurs et aujourd'hui la maison Parsons construit divers modèles de turbo-ventilateurs d'une puissance de 35 à 200 chevaux, le diamètre du ventilateur variant de 0,76 m à 1,52 m. La commande des pompes rotatives faisant de 100 à 200 tours par minute peut également être facilement obtenu au moyen d'engrenages réducteurs plongés dans l'huile. Les machines-outils peuvent aussi être actionnées par engrenages ou par courroies. Enfin, comme nous le disions en commençant, une nouvelle application a été récemment tentée : la commande des arbres d'hélices des navires. A la fin de 1896, 30 000 chevaux environ fournis par des turbines Parsons étaient utilisés à ces divers usages.

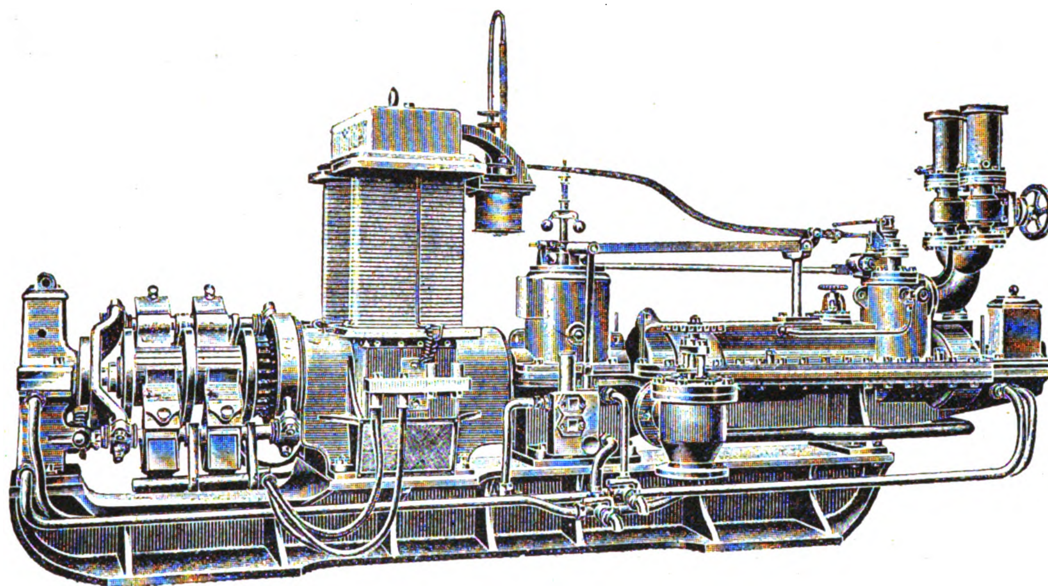


Fig. 5. — Vue d'ensemble d'un turbogénérateur Parsons de 75 kilowatts.

Les applications électriques sont cependant restées les plus importantes et la grande partie des 30 000 chevaux est utilisée à l'actionnement des dynamos. De grands perfectionnements ont été apportés peu à peu dans ce genre d'applications. Le modèle de turbomoteur de 1884 n'avait qu'une puissance de 6 chevaux et tournait avec une vitesse de 4 800 tours par minute en consommant beaucoup de vapeur. Aujourd'hui on construit des groupes électrogènes de plusieurs centaines de chevaux, tournant avec une vitesse de 3 000 tours et ne dépensant que 6 à 7 kg de vapeur par cheval-heure électrique.

Parmi les usines génératrices d'électricité employant des turbines Parsons, nous relevons : les stations centrales d'éclairage de la Newcastle and District Electric Lighting C°, dont l'installation est faite exclusivement au moyen de ces appareils, celles de la Metropolitan Electric Supply C°, de Londres, où sont installés 11 turboalternateurs de 350 kilowatts, la station centrale de Cecil-Hotel comprenant 4 groupes électrogènes de 75 kilowatts à courant continu dont l'un est représenté par la figure 5, les stations centrales de Cambridge, Woking, Scarborough, Portsmouth, Blackpool, Woolwich, Maderia, enfin la station électrolytique de Sainte-Hélène où ont été récemment installés deux turbogénérateurs de 410 kilowatts, donnant 3 416 ampères à 120 volts (1).

Comme on le voit par la figure 5, dans les

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p, 476, 5 décembre 1896.

turbogénérateurs à courant continu l'induit de la dynamo est calé sur l'arbre même de la turbine. La régulation de la vitesse est obtenue au moyen d'un régulateur électromagnétique très sensible : un solénoïde que l'on voit sur la figure à droite des inducteurs est mis en dérivation sur la dynamo et agit sur un levier commandant la soupape d'admission de la vapeur. Un régulateur ordinaire à force centrifuge, dont le mode d'actionnement est visible sur la figure 1, prévient en outre tout emballement.

Dans les turboalternateurs, l'induit de l'excitatrice est claveté sur le même arbre que celui de l'alternateur; généralement cet arbre est celui de la turbine, toutefois dans quelques modèles il est entraîné par engrenages réducteurs.

L'emploi de ces appareils dans les stations centrales d'électricité présente d'assez nombreux avantages que M. Parsons ne manque pas de faire ressortir dans ses diverses communications à l'Engineering Conference.

En premier lieu il procure une économie considérable dans les dépenses de premier établissement de la station génératrice, économie résultant de plusieurs facteurs : moindre prix de revient des machines motrices pour une puissance donnée ; diminution de l'importance des fondations par suite du faible poids des machines par unité de puissance ; diminution de l'emplacement nécessaire et par conséquent de la grandeur des bâtiments. A partir d'une puissance de 200 kilowatts, le poids de l'ensemble, moteur, condenseur, génératrice de courant n'est guère que de 40 kg par kilowatt, poids évidemment très faible. Quant à l'encombrement, il est aussi très faible : pour les turboalternateurs, la surface occupée est $6,4 \times 0,91$ m² pour une puissance de 200 kilowatts et de $9,145 \times 1,22$ m² pour une puissance de 1 000 kilowatts.

Les frais d'exploitation sont également très réduits. La consommation de vapeur est très faible et dans les modèles récents avec condensateurs et surchauffeurs de vapeur elle ne dépasse guère 7 kg par cheval-heure électrique mesuré aux bornes des générateurs de courant (pour les turbogénérateurs de Saint-Hélène, les constructeurs ont garanti une consommation de 6,8 kg seulement). De plus, cette consommation, comme l'ont montré de nombreux essais dont nous donnons plus loin deux exemples, n'augmente pas considérablement quand la charge diminue dans de grandes proportions, point important dans les stations centrales d'éclairage où les machines travaillent rarement à pleine charge. Dailleurs, par suite de la grande facilité avec laquelle les moteurs peuvent être mis en marche, il est possible de faire usage d'unités de faible puissance fonctionnant toujours dans le voisinage de la pleine charge, ce qui peut être avantageux malgré la faible augmentation qu'éprouve la dépense de vapeur par unité de puissance quand la puissance du moteur diminue. Enfin la facilité de la surveillance résultant du faible encombrement des groupes générateurs et de la simplicité de leurs organes permet de réduire le personnel chargé de cette surveillance.

D'un autre côté, les dépenses d'entretien sont aussi diminuées dans une forte proportion. Les entraînements d'eau qui, dans un moteur ordinaire, peuvent faire sauter les fonds des cylindres, n'ont pratiquement sur les turbines Parsons d'autre action que de ralentir un peu leur vitesse. L'emploi de la vapeur surchauffée, même fortement, n'entraîne aucun inconvénient, ces turbines ne présentant intérieurement, ni surfaces de frottement, ni garnitures, ni système de graissage sur lesquelles la vapeur surchauffée puisse exercer une action destructive. Enfin, l'absence de pièces animées de mouvements de va-et-vient et l'équilibrage parfait des diverses pièces en rotation suppriment presque complètement les vibrations. Dans de telles conditions, l'usure des moteurs ne peut être que très régulière et les détériorations graves extrêmement rares.

On pourrait craindre une dépense exagérée d'huile par suite de la vitesse extrêmement

grande des pièces mobiles. En réalité, comme la vapeur ne se trouve nulle part en contact avec l'huile, il n'y a pas entraînement de celle-ci dans les eaux de condensation et on évite ainsi une perte d'huile, perte assez considérable malgré l'emploi de séparateurs.

Les essais auxquels nous faisions allusion plus haut, ont été faits par M. Hunter, ingénieur de la Newcastle and District Electric Lighting C°; les uns portent sur un turbo-générateur à courant continu de 200 kilowatts, les autres sur un turbo alternateur de 150 kilowatts.

Le tableau suivant résume les résultats des premiers, dont il a déjà été question dans ce journal [1] :

Énergie produite.	CONSOMMATION d'eau par heure.	par kwt-h.	par ch-h.	OBSERVATIONS
kw-h.	kgr.	kgr.	kgr.	
219,2	4 298	19,61	14,62	Sans condensation.
98,7	2 655	26,89	20,05	
54,5	1 965	36,09	26,92	
0	947	.....	.....	
203,0	3 826	18,84	14,05	Sans condensation et avec une surchauffe de 16°.
106,1	2 400	22,62	16,87	
0	636	.....	.....	
208,0	2 471	11,87	8,85	Avec condensation, vapeur non surchauffée.
108,4	1 378	12,72	9,48	
0	241	.....	.....	

Ces résultats montrent que, d'une part, la condensation, et, d'autre part, la surchauffe, ont séparément un effet marqué sur la diminution de la consommation de vapeur; il est donc probable que par l'emploi simultané de la condensation et de la surchauffe, cette consommation ne dépasserait guère 7 kgr par cheval-heure, comme le garantissent maintenant les constructeurs. Il a été en outre constaté qu'il ne se produit aucun emballement de la machine quand on passe brusquement de la charge totale à la charge nulle.

Dans les seconds essais, la turbine tournait à raison de 9 400 tours par minute et entraînait, au moyen d'un engrenage hélicoïdal, réduisant la vitesse angulaire dans le rapport de deux à un, l'alternateur de 150 kilowatts et son excitatrice montée sur le prolongement de l'axe de celui-ci.

La consommation de vapeur était obtenue en mesurant la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières, eau puisée dans une citerne jaugée avec soin. La puissance électrique produite était mesurée par un wattmètre Kelvin, dont les indications étaient contrôlées par celles d'un voltmètre et d'un ampèremètre; cette puissance était absorbée par une résistance à eau.

La pression de la vapeur à l'entrée dans la turbine était seulement d'environ 5 kg : cm^2 (70 livres par pouce carré), et sa pression à sa sortie, exprimée en colonne de mercure, variait de 663 à 679 mm; il n'y avait ni séparateur de vapeur, ni surchauffeur.

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

Énergie produite.	CONSOMMATION D'EAU par heure.	par kwt-heure.	par cheval-heure.	Nombre de tours par minute.
kwt-heure.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	
150,33	1 580	10,5	7,84	4700
72,84	884	11,9	9,07	4700
38,97	521	13,4	9,97	4700
0,175	197	»	»	4600

Les chiffres des trois premières lignes de ce tableau sont relatifs à la pleine charge, à la demi-charge et au quart de charge; ils montrent que l'augmentation de la consommation de vapeur rapportée à l'unité de travail n'est pas très considérable. La dernière colonne indique que la régulation du moteur est des plus satisfaisante, la vitesse de rotation étant sensiblement constante, quelle que soit la charge. Enfin, l'ensemble du tableau accuse

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 93, 3 avril 1897.

une consommation de vapeur par unité de travail relativement petite, surtout si l'on tient compte de la faible pression de la vapeur à son entrée dans la turbine et du faible degré de vide du condenseur.

Revenons maintenant aux applications de la turbine Parsons à la propulsion des bateaux, qui intéressent indirectement les électriciens, par les consommations de vapeur relevées sur le *Turbinia* et qui constituent une innovation importante, méritant d'être connue, dans la construction des navires à grande vitesse, et particulièrement des torpilleurs.

Le *Turbinia* est un navire de 30 m de long, 2,7 m de large et 1 m de creux, et d'un déplacement de 44 tonnes. Sa coque, formée de feuilles d'acier de 1,5 à 4,5 mm d'épaisseur pèse 15 tonnes anglaises (1 016 kg). La machinerie comprend 3 turbines calculées pour développer une puissance de 1 500 chevaux, disposées en série, la vapeur se détendant de l'une à l'autre. La turbine à basse pression est placée suivant l'axe du navire; de chaque côté, et un peu en arrière, sont placées les turbines à haute et moyenne pression. Chacune d'elles entraîne directement un arbre légèrement incliné vers le bas et portant chacun 3 hélices, soit 9 hélices en tout. La vapeur est fournie par une chaudière tubulaire du type de 16 kgr de pression par centimètre carré, ayant une surface de chauffe de 99 m² et une surface de grille de 40 m². Le poids total de la machinerie (chaudière, turbines, arbres, hélices) est de 22 tonnes anglaises. L'approvisionnement de charbon et d'eau est de 7,5 tonnes.

Les premiers essais, faits en décembre dernier, ont montré qu'il était possible d'atteindre une vitesse de 29,6 nœuds, soit $29{,}6 \times 1{,}852 = 53$ km environ par heure, la vitesse de rotation des turbines étant de 2 550 tours par minute. Pendant les essais faits en avril 1897, la vitesse du navire a pu être portée à 31,01, 32 et 32,75 nœuds ; des essais plus récents ont, paraît-il, permis d'observer des vitesses de 34 nœuds. Si l'on tient compte de la petitesse du navire, ces vitesses sont exceptionnelles, et M. Parsons estime qu'avec des navires de 60 m de longueur, comme les torpilleurs de haute mer, il serait facile d'atteindre une valeur de 40 nœuds.

Les essais d'avril ont été effectués sous la direction du professeur Ewing ; nous reproduisons ci-dessous les chiffres se rapportant à l'un d'eux :

Nombre moyen des tours des turbines par minute	2 100
Pression de la vapeur dans la chaudière, en kg : cm².	14
Pression de la vapeur dans la machine en kg : cm²	9,1
Vide dans le condenseur, en kg : cm² .	0,9
Vitesse du navire, en nœuds.	31,01
Puissance vraie calculée, en chevaux .	946
Puissance indiquée calculée, en chevaux.	1 576
Consommation de vapeur calculée en admettant une valeur constante de 31,01 nœuds, en kg	11 400
Consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure, en kg	7,19

Il résulte donc de ces essais que la consommation de vapeur n'est que de 7,19 kg par cheval-heure indiqué, alors que, pour une même vitesse, les machines ordinaires à triple expansion consomment une quantité bien plus considérable. Dans d'autres essais, on est même arrivé à une consommation encore inférieure : 6,5 kgr de vapeur par cheval-heure indiqué.

Mais il convient d'indiquer comment on a pu évaluer la puissance indiquée, les appareils ordinairement employés pour la mesure de cette quantité, dans les machines actuelles, ne pouvant évidemment pas être employés avec les turbines à vapeur. Cette évaluation a été faite par M. Ewing, suivant la méthode de M. William Froude : un modèle du *Turbinia* ayant été fait à une échelle réduite, on a cherché quelle était la puissance motrice nécessaire pour lui communiquer une vitesse constante égale à celle constatée dans les essais; par le calcul, on a déduit du résultat trouvé que la puissance nécessaire à la propulsion du *Turbinia* était

de 946 chevaux (horse-power); en admettant que le rapport entre la puissance de propulsion et la puissance indiquée est de 0,60, ce qui semble être la valeur de ce rapport pour les torpilleurs et les navires de grande vitesse, on a trouvé 1 576 chevaux pour la puissance indiquée.

L'évaluation est donc assez détournée, et les multiples hypothèses qu'elle met en jeu peuvent en fausser considérablement le résultat. Quoi qu'il en soit, il paraît résulter de la discussion qui a suivi la communication de M. Parsons que, pour une même vitesse, la consommation de vapeur par unité de puissance serait moindre qu'avec les machines marines actuelles, et qu'il serait possible d'obtenir avec les turbines à vapeur des vitesses beaucoup plus grandes que celles que l'on obtient aujourd'hui. C'est là un résultat intéressant, qui fait bien augurer de l'avenir de ces machines motrices dans l'industrie et, en partilier, dans l'industrie électrique.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Thermomètre avertisseur électrique A. Luraschi (1).

L'appareil se compose d'un thermomètre à maxima et à minima de Six et Bellani auquel est adapté un dispositif avertisseur.

Rappelons que ce thermomètre est généralement formé de deux branches en U terminées par des ampoules de dilatation comme celle que l'on voit en *b* et en *c* de la figure 1. Dans une de ces branches, si c'est un thermomètre à maxima, et dans les deux, si l'appareil donne à la fois les maxima et minima, se meut un index en verre renfermant un petit cylindre de fer que le mercure soulève dans une branche ou dans l'autre, suivant les variations de la température. Ces ampoules se trouvent maintenues dans leurs positions par l'effet d'un petit ressort dont chacune d'elles est munie et qui, en appuyant contre la paroi interne du tube capillaire, les empêche de retomber au contact du mercure. Par suite, leurs positions respectives indiquent les limites entre lesquelles la température a varié. On ramène les ampoules au contact du mercure à l'aide d'un aimant.

Dans le perfectionnement apporté par l'inventeur à un thermomètre de ce genre, indiquant les maxima, l'ampoule ne reste plus

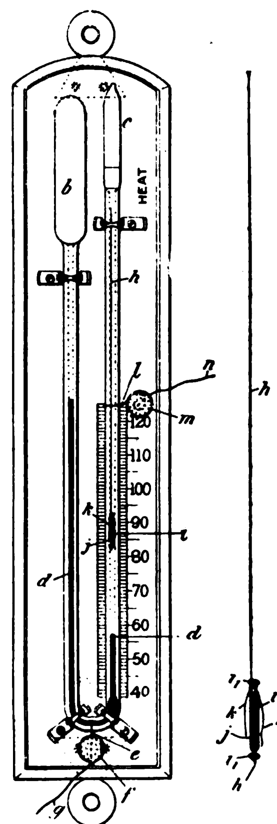


Fig. 1 et 2. — Thermomètre avertisseur Luraschi.

au contact du mercure mais est maintenue

(1) Brevet anglais n° 12550, présenté le 8 juin 1896, délivré le 3 avril 1897.

par l'aimant faisant partie intégrante de l'appareil à une graduation quelconque de l'échelle et dès que la colonne de mercure vient la toucher le circuit d'une sonnerie se trouve fermé.

La disposition est la suivante : l'ampoule *i* est suspendue (fig. 2) à un fil de platine *h* très fin et de longueur suffisante pour lui permettre d'occuper toute la graduation de l'échelle. Ce fil traverse l'index de verre par le collier-guide i_1, fait plusieurs fois le tour du petit cylindre renfermé à l'intérieur et sort en *h* par le second collier-guide i_1 qu'il dépasse d'une longueur juste suffisante pour établir le contact avec le mercure. Dans ce dernier plonge un petit fil de platine traversant le tube qui le contient pour venir aboutir à la borne *f*. D'autre part, *h* étant relié par *l* à la seconde borne *m*, on conçoit que le circuit d'une pile puisse être fermé dès que la colonne de mercure aura atteint la position que l'on a donnée à l'index. L. D.

Commutateur Siemens Brothers et Bartlett pour couplage de deux moteurs [1].

Ce coupleur assez analogue à ceux employés sur les voitures de tramways électriques est représenté sur la figure 1.

Les deux bras A et B, lesquels sont toujours en communication, le premier avec le pôle négatif du premier moteur et le second avec le pôle positif du second, peuvent être déplacés ensemble à l'aide d'une manette H commandant un disque T muni d'une dent qui engrène successivement avec chacune des encoches pratiquées sur les disques D fixes sur les bras A et B.

Les contacts métalliques avec lesquels ces bras peuvent communiquer sont au nombre de quatre, l'un *a* est en connexion directe avec le pôle négatif de la source comme le montre la figure 2 ; un second *b* est en communication avec le pôle positif, et enfin a_1 et b_1 servent simplement de plots de repos à chacun des deux bras.

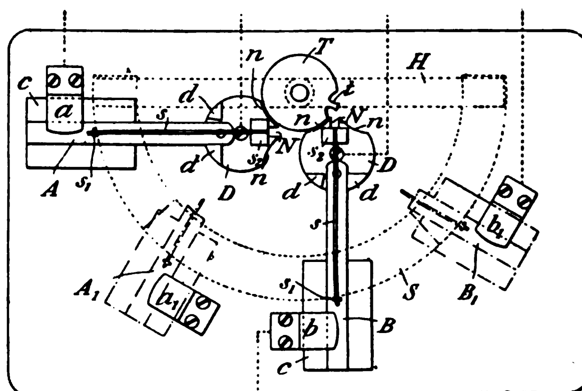


Fig. 1. — Commutateur Siemens Brothers et Bartlett pour couplage de deux moteurs.

En faisant tourner la manette H de 120° à partir de la position indiquée sur la figure 2,

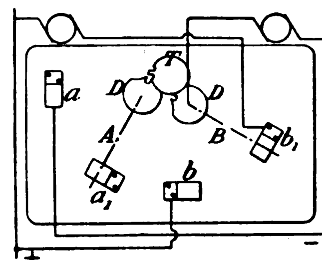


Fig. 2. — Schéma des connexions du commutateur Siemens Brothers et Bartlett.

on voit que les deux moteurs d'abord en série, seront mis d'abord l'un en court-circuit ; puis les deux en parallèle.

Procédé démarrage d'un moteur asynchrone monophasé.

Dans un article très intéressant sur le nouveau matériel de la maison Ganz, de Budapesth, M. Dubsky [1] donne l'indication d'un procédé de démarrage d'un moteur asynchrone à courant monophasé, lorsqu'on possède un second moteur déjà en fonction dans le voisinage du premier.

---

[1] Brevet anglais déposé le 14 décembre 1895, accordé le 14 décembre 1896.

[1] *The Electrician* du 16 avril 1896.

Ce procédé, dû à M. de Kando, consiste à partager le circuit inducteur de chaque moteur, comme le montre la figure, en constituant l'enroulement en deux parties décalées d'un demi-pôle l'une par rapport à l'autre et réunies en série.

Les différences de potentiel entre les points *a* et *b* d'une part et *b* et *c* d'autre part, sont évidemment décalées d'un quart de période entre elles; aussi, si l'on réunit les trois bornes d'un moteur aux bornes correspondantes *a b c* d'un premier moteur branché entre les points *a* et *c* de la canalisation, le démarrage s'opère avec la même facilité que si le moteur était alimenté par des courants diphasés.

Fig. 1. — Dispositif de Kando pour le démarrage d'un moteur monophasé à l'aide d'un autre moteur du même type.

Une surcharge brusque d'un moteur à courant monophasé peut l'arrêter immédiatement sans espoir de le remettre en vitesse; la charge enlevée avec le dispositif précédent, au contraire, l'action du transformateur de phase facilite la remise en route. Lorsque les glissements des deux moteurs sont différents, un courant circule constamment dans les conducteurs réunissant les bornes *b* des moteurs et ce courant est d'autant plus grand que la différence des glissements est plus grande. J. R.

Commutateur bipolaire de voltmètre pour batterie d'accumulateurs.

Ce commutateur a pour but de permettre de connaître rapidement et aussi souvent qu'il en est besoin la différence de potentiel aux bornes de chaque élément d'une batterie d'accumulateurs. Voici d'après une récente communication faite par M. F. Planzol à l'Association amicale des ingénieurs-électriciens [1], la description d'un de ces commutateurs, construit par la Société des téléphones, d'après les instructions de M. E. Sartiaux ingénieur en chef des services électriques des chemins de fer du Nord et en usage sur une batterie d'accumulateurs de 66 éléments.

Fig. 1 et 2. — Commutateur de voltmètre pour batterie d'accumulateurs. Élévation et coupe suivant *a b*. Plan.

L'appareil se compose d'un plateau circu-

[1] *Mémoires et compte rendu des travaux de l'Association amicale des ingénieurs-électriciens*, t. III, n° 10, p. 9.

laire en marbre A (fig. 1), de 40 cm de diamètre sur lequel sont fixées des touches en laiton *l*, *l'*, *l''* (fig. 2) en nombre égal à celui des éléments de la batterie, séparées et isolées les unes des autres par de petits secteurs en fibre *o*, *o*, *o*, ..., d'égale épaisseur, le tout formant une couronne circulaire dont la surface a été bien dressée.

Au droit de chacune des touches est percé un trou *a*, *a*, *a*, ..., dans lequel passe un fil isolé de 9/10 de mm de diamètre, venant de chaque élément de la batterie; il est serré sous l'écrou et la rondelle *r* servant également à la fixation de chaque touche.

Deux autres couronnes concentriques en laiton C et D servent à faire contact continu avec les bornes du volmètre V. Deux petites tiges en cuivre *m* et *n*, fixées sur ces couronnes et perpendiculaires au plan du plateau amènent le courant de ces couronnes au voltmètre V, en passant par les bandes de cuivre rouge R R et par un interrupteur I qui permet d'isoler le voltmètre.

Le voltmètre et l'interrupteur sont fixés par des petits boulons-écrous et contre-écrous sur un disque en verre P de 10 mm d'épaisseur et du même diamètre que le plateau de marbre.

Le disque en verre porte, en outre, une couronne de laiton K, sur laquelle sont gravés des numéros correspondant au nombre des éléments de la batterie et de telle façon que le numéro 1 soit exactement situé entre le premier et le deuxième plot en laiton du plateau de marbre, le numéro 2 entre le deuxième et le troisième plot et ainsi de suite.

La partie mobile de l'appareil est une manette M N, constituée par un collier O pouvant tourner à frottement doux entre les deux pièces de fonte E et F, dont l'une F est échancrée à cet effet, et par une lame coudée TU en fonte sur laquelle est fixée une pièce en cuivre *gh* portant 4 petits pistons à ressorts destinés : le n° 1 à courir sur la couronne D, le n° 2 sur la couronne C, les n°s 3 et 4 sur la couronne des touches ; la distance de ces deux derniers est réglée de manière à ce qu'ils prennent exactement contact sur deux plots consécutifs de la couronne.

La pièce *gh* est isolée de la lame TU par l'interposition d'une petite plaque de fibre.

L'extrémité de la lame TU est coudée en T et vient se présenter comme un index sur la couronne de numéros K; elle porte une poignée L, destinée à la manœuvrer.

Les fils aboutissant à chaque extrémité de la batterie sont à fort isolement; on munit habituellement l'extrémité à rattacher à chaque élément des petites fourches soudées qui facilitent les manipulations de l'entretien.

La touche n° 1 de l'appareil est reliée au négatif du premier élément de la batterie, la touche n° 2 au négatif du second, etc..., la touche n° n au négatif du n^e bac et la $(n+1)^e$ au positif du n^e bac, en appelant n le nombre des éléments de la batterie.

Le voltmètre V est apériodique et est gradué en 0,05 volt entre 0 et 3; il doit être sensible au 0,02 de volt.

L'emploi de cet appareil permet de juger rapidement de l'état d'une batterie en charge ou en décharge; on mesure la différence de potentiel d'une dizaine d'élément pris au hasard ; si la batterie est en charge on continue cette charge jusqu'à ce que cette différence de potentiel atteigne 2,5 ou 2,6 volts ; si au contraire la batterie se décharge, on arrête la décharge quand elle tombe à 1,8. La conduite d'une batterie est ainsi rendue des plus simples et peut être confinée à n'importe quel ouvrier ; de plus la charge des éléments de réduction peut être réglée soigneusement ce qui n'est guère possible avec les méthodes employées ordinairement pour la conduite d'une batterie ; enfin les bacs avariés se trouvent immédiatement reconnus.

On pourrait objecter que les fils reliant les éléments au commutateur doivent gêner l'accès des bacs; il n'en est rien dans une installation bien faite.

Cinquante de ces commutateurs sont maintenant en service dans les usines du réseau de la Compagnie du chemin de fer du Nord. J.R

Les applications de l'électricité comme force motrice à l'agriculture;

Par Paul Renaud [1].

Après avoir attaqué et vaincu les difficultés techniques que présentait l'application de l'électricité à l'éclairage et à la traction, les ingénieurs électriciens ont dirigé leurs efforts vers la solution d'un problème posé dès la première heure : l'utilisation des forces motrices naturelles et le transport à grande distance, au moyen de l'électricité, de l'énergie qu'elles produisent. Au point de vue technique les solutions ne manquent pas et les conditions dans lesquelles telle ou telle solution convient le mieux se précisent de jour en jour. Mais il ne suffit pas de savoir capter et transporter l'énergie fournie par les chutes d'eau, il faut encore trouver l'utilisation de cette énergie. Or, si les développements que prend l'application de l'électricité à la chimie permettront et déjà permettent d'utiliser cette énergie sur place, l'application de l'électricité à l'agriculture constitue, suivant l'opinion de nombreux ingénieurs, le moyen le plus rémunérateur de l'utiliser à distance. La conférence que M. Paul Renaud faisait le 8 janvier dernier devant la Société d'encouragement, vient donc à son heure et, bien que la plupart des renseignements qui y sont contenus soient déjà connus de nos lecteurs, nous en profiterons pour leur remettre sous les yeux, par le résumé de cette communication, les résultats des quelques essais tentés pour utiliser l'énergie électrique dans les travaux agricoles.

Le conférencier commence par rappeler les premiers essais vraiment pratiques qui furent entrepris en 1878, par MM. Félix et Chrétien de Sermaize. Tout d'abord M. Félix fit construire un *appareil de débarquement pour les betteraves*, constitué par une courroie sans fin munie de palettes se mouvant dans une élinde inclinée dont l'extrémité inférieure porte une trémie et plonge dans le chaland servant au transport des betteraves; celles-ci, jetées par des ouvriers dans la trémie, sont remontées par les palettes jusqu'au sommet de l'élinde, d'où elles tombent dans un couloir incliné qui les conduit aux wagonnets ; une machine Gramme met en mouvement, par courroie, l'arbre commandant la courroie à palettes. La facilité de conduite et la régularité de l'appareil ainsi que la réalisation d'une économie de 30 p. 100 sur les anciens procédés de transbordement, décidèrent M. Félix à faire construire un second appareil de débarquement et à faire de nouveaux essais : une machine à battre et un hache-paille furent successivement mis en mouvement au moyen de l'électricité.

L'année suivante, le 8 mai 1879, eurent lieu, avec le concours de MM. Gramme et Fontaine, les premiers essais de labourage électrique qui firent grand bruit à l'époque : un champ situé environ à 500 m de la sucrerie de Sermaize fut labouré au moyen d'une charrue tirée par un câble enroulé sur un treuil mû électriquement. Voici quelques chiffres relatifs à ces expériences :

Puissance à la génératrice. . .	8 chevaux.
— aux réceptrices. . .	4 —
Avancement de la charrue, grande vitesse.	81 m par minute.
Avancement de la charrue, petite vitesse	50 —
Vitesse du treuil automobile. .	16 —
Largeur du labour	0,275 m
Profondeur de la culture . . .	0,20 m
Surface labourée par minute. .	20 m²

Vers la même époque, une tentative fut faite en Angleterre par M. Siemens, dans une ferme des environs de Londres; l'énergie électrique fut utilisée pour actionner un hache-paille, un coupe-racines, une scie à bois, des pompes ; pendant la nuit elle servait à l'éclairage électrique de serres dans lesquelles on étudiait l'action de cet éclairage sur le développement des plantes.

Quelques années plus tard, en 1891, le comte Victor de Asarta faisait, à Fraforiano,

[1] *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 5e série, t. II, p. 659-690, mai 1897.

au sud de la province de Frioul, de nouveaux essais de labourage électrique. L'énergie était fournie par une roue Poncelet actionnant une dynamo Helvétia ; comme dans les expériences de Sermaize, la charrue était tirée par un câble ; diverses autres machines agricoles fixes étaient également mues par l'électricité [1].

Viennent ensuite les expériences faites en octobre 1894, à Haale-sur-Saale, en Saxe, par M. Zimmermann, où l'on rencontre une innovation : la charrue porte un moteur électrique actionnant un treuil sur lequel passe une chaîne solidement ancrée à une extrémité et qui sert ainsi de chaîne de touage ; de cette façon, la commande de la charrue se trouve

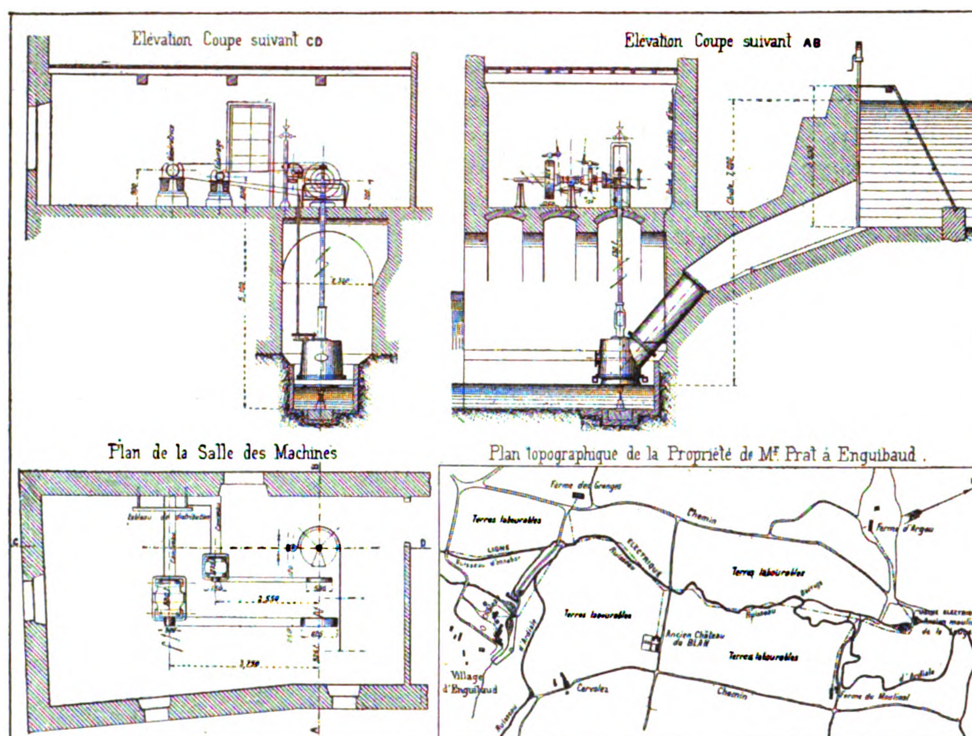


Fig. 1. — Usine du domaine d'Enguibaud et plan de ce domaine.

sous la main même du conducteur, ce qui constitue un avantage appréciable sur le système à treuil fixe [2].

Mais cet avantage se trouve en partie compensé par l'inconvénient d'avoir un conducteur souple et isolé se déplaçant avec la charrue, car malgré l'emploi de chariots porteurs, destinés à empêcher son traînage sur le sol, ce conducteur se détériore vite et de plus ces chariots exigent la présence de deux enfants chargés de veiller à ce que leurs déplacements sous la traction exercée par le câble se fassent sans à-coup. Aussi, dans l'installation faite récemment en France, avec le matériel Zimmermann, chez M. Landrin, à Bertaucourt-Épourdon (Aisne), installation que nous signalions dans notre chronique du 19 décembre dernier (p. 576), MM. Magnin et Bureau ont cherché à éviter cet inconvénient. Dans ce but, une double ligne est disposée le long des côtés du champ perpendiculairement aux sillons ; elle est supportée à 2,5 m au-dessus du sol par des isolateurs en porcelaine fixés sur des poteaux. De cette ligne part une ligne

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 670, 15 décembre 1894.

(2) Voir au sujet de ces expériences *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 537, 21 décembre 1895, et p. 367, 23 novembre 1895.

mobile constituée par deux câbles de fils de cuivre tordus et nus, tendus parallèlement au rayage de la charrue au moyen de deux petits chars ; celui de ces chars qui est du côté de la ligne fixe porte deux rouleaux isolés sur lesquels sont enroulés séparément les deux câbles ; celui de l'autre extrémité est un char-ancre muni de deux tendeurs. Les câbles sont soutenus tous les trois mètres par des supports légers ; un double frotteur amène le courant au moteur de la charrue et, en même temps, soulève les supports et les déplace parallèlement à eux-mêmes, de telle sorte que la ligne mobile se trouve convenablement disposée pour le retour de la charrue, qui est du système dit charrue basculante.

Voici quelques résultats relatifs à cette application :

Longueur de la chaîne de touage.	250 m
Longueur du rayage. . . .	230 à 240 m
Temps pour parcourir ce rayage.	4 minutes environ.
Vitesse de la charrue. . . .	1 m par seconde.
Temps nécessaire pour basculer la charrue	45 à 60 secondes.
Temps total	5 minutes.
Vitesse pratique	0,80 m par seconde

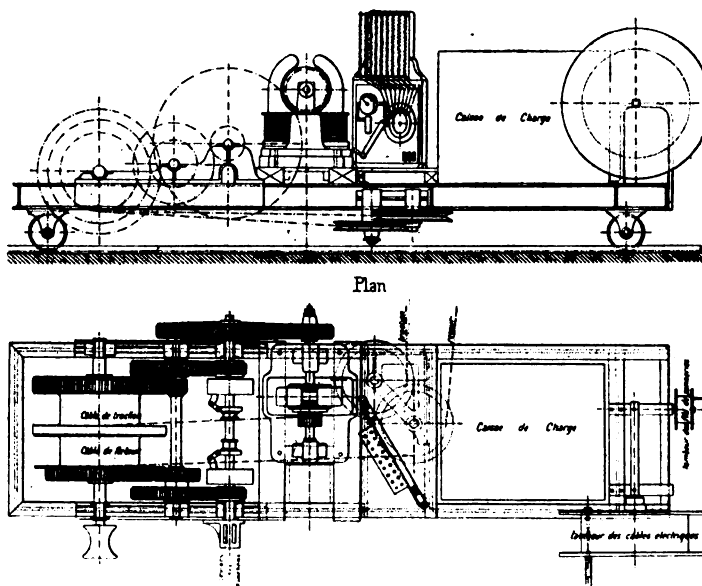


Fig. 2 et 3. — Treuil électrique de M. Prat pour labourage. Élévation et plan.

Pour un rayage de 100 m, la vitesse pratique s'abaisse à 0,60 par seconde.

Quant au rendement, on peut le déduire des données suivantes :

Profondeur du labour, 0,23 m; largeur 0,73 cm (charrue à deux socs); surface 16,8 dm²; résistance du sol, 55 kg par dm² (d'après M. Ringelmann); donc résistance 924 kg; travail correspondant 924 kgm.

Effort supplémentaire pour vaincre l'adhérence des roues qui s'enfoncent de 2 à 3 cm dans le sol détrempé, 200 à 300 kg. Effort de traction total : 1 200 kg.

La génératrice donnait 40 à 48 ampères sous 400 à 450 volts, soit une puissance d'environ 24,5 chevaux pour laquelle la locomobile actionnant la dynamo doit donner 29 chevaux soit 2 175 kgm : sec.

Le rendement est donc $\frac{924}{2175} = 0,454$.

Ajoutons que pour une surface couverte de 2 100 m² correspondant à 2 400 m de rayage, l'énergie dépensée a été de 12 kilowatts-heure, que le personnel était de 4 hommes (3 aides et un laboureur-conducteur) et que la surface couverte en une journée d'hiver a été de 1,6 hectare.

M. Renaud décrit ensuite les installations faites par M. Félix Prat, dans son domaine

d'Enguibaud, installations qui ont déjà été l'objet d'une revue [1]. Les figures 1 à 5, que nous devons à l'obligeance de la Société d'encouragement, représentent l'usine génératrice, le plan du domaine, le treuil électrique tel qu'il a été décrit, le schéma d'une installation et la vue d'une charrue. Comme on le voit, le moteur électrique du treuil actionne celui-ci par un train d'engrenages. Cette disposition présentait plusieurs inconvénients : d'abord la dynamo se trouvait placée près d'une masse de fer considérable et en mouvement qui apportait des perturbations dans son fonctionnement ; ensuite les à-coups provenant de l'inégale résistance du terrain fatiguaient beaucoup le train d'engrenages et produisaient des vibrations ayant pour effet une usure irrégulière du collecteur et une casse fréquente des balais en charbon. M. Tailhade, l'ingénieur chargé de la direction des installations, y a remédié en plaçant la dynamo à l'extrémité du truck opposée à celle où se trouve le treuil et en effectuant la transmission par courroie ; depuis deux ans que

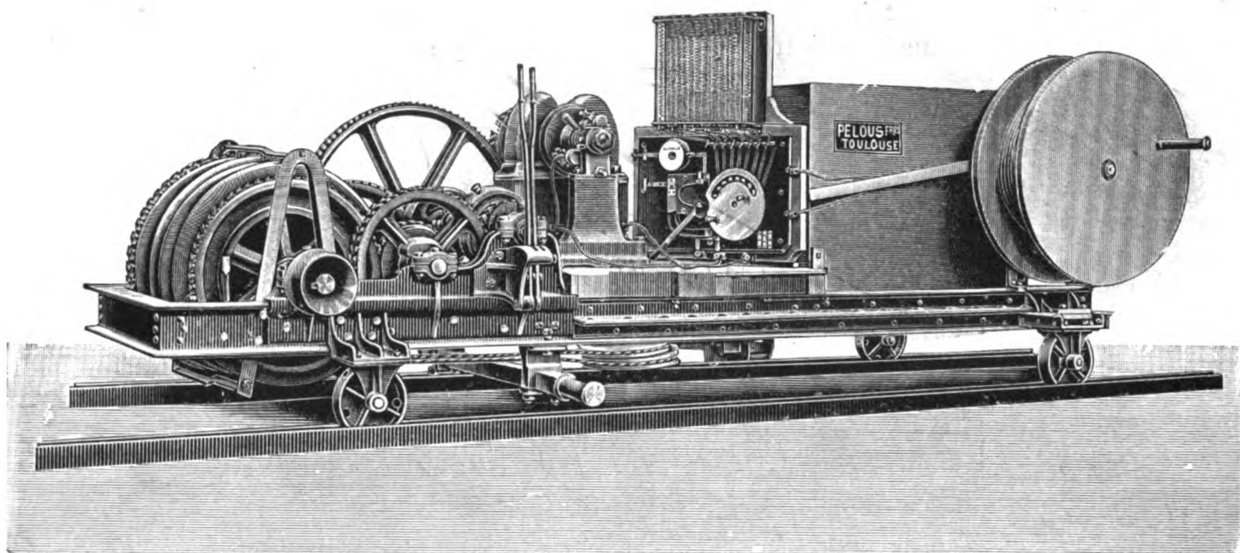


Fig. 4. — Treuil électrique de M. Prat pour labourage. Vue d'ensemble.

cette modification a été faite, le fonctionnement du treuil a été très régulier et plus silencieux qu'auparavant.

Quant aux résultats des premiers essais de labourage (ou plus exactement de défonçage, car le soc de la charrue s'enfonçait jusqu'à 60 et 70 cm) ils sont donnés par les chiffres suivants qui se rapportent à un sol argileux, adhérant fortement au soc et aux roues.

Vitesse de la charrue en travail, par minute	26,5 m
Vitesse de la charrue, retour à vide, par minute	87 m
Profondeur du sillon	60 à 70 cm
Largeur de la bande	50 cm

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 374, 23 novembre 1895.

	Volts	Ampères
Dynamo génératrice. Charrue en travail	375	35
— — à vide	375	16
Moteur du treuil. Charrue en travail	325	35
— — à vide	360	10
Moteur seul avec l'arbre des manchons	375	3,5

De ces chiffres, et en admettant un rendement de la dynamo génératrice et du moteur égal à 0,815, M. Renaud déduit que le rendement total, c'est-à-dire le rapport du travail de la charrue au travail fourni par la turbine, est d'environ 0,43, nombre identique à celui qui résulte des récentes expériences de Bertaucourt-Épourdon.

Le prix de revient du défonçage d'un hectare peut être aisément évalué à l'aide des données suivantes : L'installation du maté-

riel de labour est revenue à 34 250 fr, mais comme une partie des frais sont communs à l'éclairage électrique de la ferme et du château (qui ne comprend pas moins de 90 lampes à incandescence), on peut les ramener à 30 000 fr; la conduite du matériel exige 4 hommes; la surface labourée par jour est de 1/3 d'hectare environ; le nombre de jours de travail pendant une année peut être estimé à 120. On trouve ainsi pour le défonçage de $1/3 \times 120 = 40$ hectares :

Amortissement du capital à 10 p. 100.	3000 fr
Main-d'œuvre 120×11	1320
Huile et divers.	100
	4420 fr

Soit 110 fr. par hectare, chiffre inférieur de moitié, d'après M. Renaud, aux divers prix de revient de tout autre système de labourage.

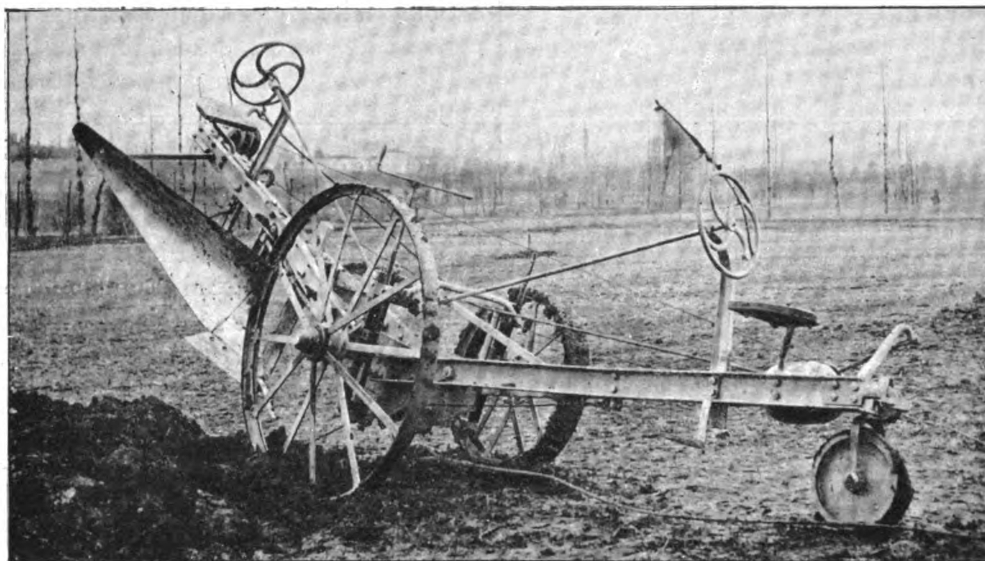


Fig. 5. — Schéma d'une installation de labourage électrique.

Le succès de ces essais engagea M. Prat à les continuer dans diverses voies : Une scierie a été installée; une faucheuse de plusieurs charrues pour labourages légers sont en construction.

Comme autre exemple d'application de l'électricité aux travaux agricoles, le conférencier décrit l'installation en cours d'exécution, de M. Vergnes, dans la commune de Montlaux près de Camarès (Aveyron): Deux turbines de 25 chevaux, actionnées par une chute du Dourdon et une machine à vapeur de 50 chevaux qui ne doit fonctionner qu'en cas d'un débit trop faible du cours d'eau ou d'accident aux turbines, constitueront le matériel moteur; l'énergie électrique sera produite par des génératrices triphasées à 3 600 volts. La ligne primaire, de 7 km de longueur, traversera les terres de grandes fermes dont les propriétaires sont désireux d'employer l'électricité pour leurs travaux agricoles; de plus on prévoit l'installation de plusieurs puissantes pompes centrifuges mues électriquement pour l'élévation de l'eau nécessaire aux irrigations des terres à flanc de coteau. M. Vergnes espère pouvoir labourer pour les particuliers à raison de 25 fr. l'hectare.

La ferme de l'Institut agronomique de Beauvais, appartenant aux Frères des Écoles chrétiennes, présente aussi quelques applications de l'électricité aux travaux agricoles.

Une turbine Hercules de 25 chevaux actionne une dynamo Fabius Henrion dont le courant met en mouvement une batteuse et un transformateur tournant servant à la charge de deux batteries d'accumulateurs destinées à

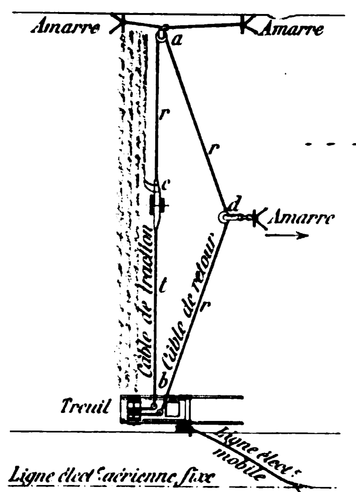


Fig. 6. — Charrue pour labourage électrique.

l'éclairage. D'ailleurs une transformation complète de la ferme, comportant une extension considérable des applications électriques est sur le point de s'opérer.

M. Renaud signale encore la ferme de M. Mankiewick à Falkenrehde où depuis six ans l'électricité est employée à tous les tra-

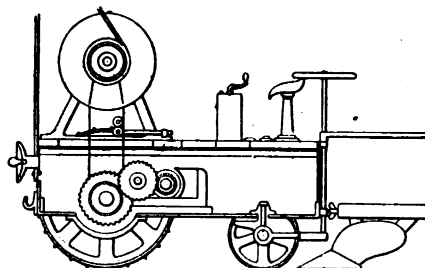


Fig. 7. — Charrue électrique automobile.

vaux de la ferme sans que la consommation de charbon dépassât celle qui était auparavant nécessaire pour le fonctionnement d'une seule batteuse.

Il décrit ensuite une charrue automobile essayée près de Chicago et que représente la figure 7. Les roues de fer de cette charrue sont munies de lames tranchantes qui, en pénétrant dans le sol, donnent une adhérence suffisante. Cette charrue présente l'avantage de permettre de labourer dans n'importe quelle direction, sans l'emploi de câble de halage ou de touage; elle peut également servir pour la traction des machines agricoles.

Enfin M. Renaud signale quelques applications faites en Algérie : mise en mouvement de sortes de dragueuses ramassant les grappes de raisins déposées sur la terre et les déposant dans les pressoirs; traction de charrues pour labourage des vignobles (domaine de Ben-Sala); mise en mouvement de wagonnets, de monte-charges, de pompes (Abziza), de norias (El-Biar).

Comme on le voit, si les installations électriques agricoles ne sont pas encore très nombreuses, celles qui existent ont donné des résultats assez satisfaisants pour qu'il soit permis d'espérer que cette nouvelle application de l'électricité ne tardera pas à se développer. J. R.

Utilisation diurne des stations centrales d'éclairage électrique;

Par T.-C. Martin [1].

L'auteur commence par rappeler que le développement des stations centrales d'éclairage électrique n'a pas été ce qu'on aurait pu espérer : « Nous avons maintenant près de vingt années d'expérience dans cette industrie, en Amérique, et nous avons été témoins de son développement rapide pendant cette période ; mais, d'une façon générale, aujourd'hui comme à l'origine de notre association, les compagnies se bornent, au grand détriment de leur progrès naturel et logique, à rester de simples compagnies d'éclairage. Que

(1) Communication faite à la réunion annuelle de la *National Electric Ligt Association*, tenue à Niagara Falls, en juin 1897.

deviendrions-nous si quelque nouvel illuminant prenait la faveur du public et venait nous priver entièrement de notre service d'éclairage? Si nous devons nous rejeter sur les applications diurnes, ne nous en trouverions-nous pas mieux? »

Il y avait aux États-Unis, en 1886, environ 410 stations centrales; 325 environ ne distribuaient le courant que la nuit, c'est-à-dire qu'elles restaient inactives les deux tiers du temps. A la fin de 1896, le nombre des stations centrales était d'environ 2 400; plus de 1 500 d'entre elles limitent leur trafic au service nocturne. Si l'on songe à l'immense capital qui est ainsi immobilisé pendant au moins les deux tiers du temps, et qui doit être rémunéré pendant un temps très court, on se demande si l'on a fait réellement tout ce qui est possible pour l'utiliser plus intelligemment.

Quatre nouveaux facteurs ont été introduits dans les dix dernières années dans l'exploitation des stations centrales; ce sont: 1° L'emploi des courants alternatifs; 2° l'emploi des accumulateurs; 3° la fourniture de la force motrice; 4° l'alimentation des appareils de chauffage électrique. L'auteur les examine successivement.

1° *Courants alternatifs*. — « Le courant alternatif est, dans la plupart des cas, exclusivement employé pour l'éclairage de nuit; et il en sera probablement ainsi jusqu'à ce que des moteurs monophasés plus satisfaisants qu'à l'heure actuelle soient construits. »

2° *Accumulateurs*. — L'emploi des accumulateurs a souvent été discuté; nous nous bornerons à relater les faits suivants. Il n'y a actuellement aux États-Unis que 15 usines munies de batteries, avec une capacité totale de 25 000 chevaux-heures. On peut comprendre les services que rendent les batteries d'accumulateurs par les résultats obtenus à la compagnie Edison de New-York, dont l'usine de Duane Street, d'une puissance de 20 000 chevaux, est une des plus importantes du monde. La fourniture de courant, pendant les heures de charge minima, est assurée par les batteries des stations annexes de Bowling Green ou de la 12e rue, soit seules, soit en parallèle avec le courant fourni par l'usine de la 26e rue. Cela permet d'arrêter complètement la grande usine de Duane Street tous les soirs depuis 10 heures et demie jusqu'à 5 heures du matin.

3° *Force motrice*. — L'emploi des moteurs est limité par les circonstances locales; on peut se rendre compte des résultats qu'on peut obtenir en étudiant le fonctionnement des grandes stations centrales, à la condition, toutefois, de se souvenir que les plus petites organisations ne peuvent à ce point de vue prendre modèle sur elles que « comme les hommes de génie peuvent servir de modèle au commun des mortels ».

Les chiffres suivants se rapportent à la station centrale d'une grande ville de l'Ouest dont le nom n'est pas donné:

CIRCUITS A BASSE TENSION	
Puissance des moteurs reliés, au 24 avril 1897	5396 chevaux.
Portion du débit total de l'usine fournie aux moteurs	23,1 p. 100.
CIRCUITS A HAUTE TENSION	
Puissance des moteurs reliés au 24 avril 1897	1 566 chevaux.
Portion du débit total de l'usine fournie aux moteurs	21,4 p. 100.
TOTAL	
Puissance des moteurs reliés, au 24 avril 1897	6962 chevaux.
Portion du débit total de l'usine fournie aux moteurs	22,8 p. 100.

Mais l'exemple le plus frappant est celui de la Compagnie Edison de New-York dont nous parlions plus haut.

Les moteurs reliés, au 1er janvier 1896, représentaient une puissance totale de 11 640 chevaux (de 76 kilogrammètres: seconde); le 1er janvier 1897, leur puissance totale était de 15 930 chevaux; une augmentation de 36 p. 100

en un an ; en plus, des moteurs d'une puissance totale de 1 142 chevaux sont alimentés par cette usine aux heures de faible charge ou en cas d'accident au moteur ordinaire ; cela porte à 17 072 chevaux la puissance totale des moteurs reliés au réseau de cette usine. La puissance moyenne de ces moteurs est de 3,5 ou 4 chevaux. Environ 5 000 d'entre eux servent au service des ascenseurs ou monte-charges.

Des résulats, sinon semblables, du moins comparables, peuvent être obtenus dans des villes moins importantes, car dans l'État de Massachusetts, où il n'y a qu'une seule grande ville, sur les 58 compagnies que contient cet État, 8 alimentent des moteurs sur leurs circuits à arcs, 18 sur les circuits à incandescence et 29 sur les circuits spéciaux ; la puissance totale reliée est de 14 000 chevaux. Le prix de vente du kilowatt-heure demandé est de 1 fr environ, mais descend souvent à 50 centimes.

On peut remarquer que les prix de vente obtenus sont souvent très avantageux. Les ventilateurs électriques, employés par milliers pendant l'été, sont fournis à raison de 5 centimes par heure ; on peut alimenter 12 de ces ventilateurs avec une puissance de 1 cheval. S'ils étaient employés d'un bout de l'année à l'autre pendant 10 heures par jour, le prix de vente du cheval-an ressortirait à 2 150 fr. Cet exemple fait voir que les prix absolus n'ont qu'une signification toute relative et que ce sont les services rendus qu'il faut considérer.

4° *Chauffage électrique*. — Un essai a été fait, il y a 3 ans, pendant 12 semaines, dans un établissement où la cuisine pour 97 personnes était faite exclusivement par l'électricité, chaque repas comprenant plusieurs plats. La consommation d'énergie électrique fut de 307 watts-heure par personne et par jour, soit environ 30 kilowatts-heure pour l'ensemble. Au prix de 0,50 fr. le kilowatt-heure, cela représente une dépense de 15 fr. soit 450 fr par mois.

Bien qu'il soit difficile d'obtenir des chiffres exacts permettant de comparer les dépenses entraînées par le chauffage au gaz, M. Martin cite le cas suivant qu'il a relevé lui-même.

Une famille de 6 personnes emploie la cuisine au gaz depuis 5 ans ; le gaz coûte 22 centimes le mètre cube (1,25 dollar les 1 000 pieds cubes). La dépense moyenne fut de 25 à 30 fr par mois, soit 17,5 centimes par tête et par jour, en admettant que les membres de la famille fussent présents tous les jours à chacun des trois repas, ce qui était rarement. En se basant sur ces données, on voit que le chauffage au gaz, pour 97 personnes aurait coûté de 450 à 500 fr, c'est-à-dire aussi cher que le chauffage électrique si le courant était vendu 0,50 fr. le kilowatt-heure.

Tout en reconnaissant que ces chiffres sont approximatifs, on voit que la cuisine à l'électricité n'est pas un rêve irréalisable au point de vue économique.

A côté de la cuisine électrique, on peut citer d'autres applications nombreuses et importantes du chauffage électrique. M. J.-I. Ayer, ancien président de l'Association et directeur d'une fabrique d'appareils de chauffage électrique a communiqué à M. Martin les renseignements suivants : cette compagnie a vendu un grand nombre d'appareils pour les fabricants de chaussures, pour les soieries ; 387 chauffe-fers à friser sont employés à New-York dans les hôtels Waldorf et Astoria, 72 à Boston, dans Parker House, d'autres à Milwaukee dans les hôtels Plankinston et Pfister et sur les transatlantiques américains. Cette compagnie a installé plus de 14 000 radiateurs électriques dans les voitures de tramways pendant la période des 18 derniers mois. Un fabricant de registres emploie depuis 1894 de 35 à 40 bains-marie électriques pour la colle forte ; les fabricants d'empois Duryea et Cie emploient aussi des chauffe-fer électriques ; dans une manufacture de pianos, à Baltimore, 20 radiateurs électriques sont en service ; les tailleurs et mar-

chands de confection, les blanchisseries qui emploient des fers à repasser électriques sont très nombreux ; les hospices des États d'Indiana, Michigan, Wisconsin, Illinois, New-York, Massachussetts, Maine et Maryland emploient également le repassage électrique ; le chauffage électrique est aussi employé par de nombreux fabricants de bandages de bicyclettes pour la vulcanisation du caoutchouc et pour les réparations.

Il est évident que si ces applications se sont ainsi multipliées, c'est que les industriels y trouvent avantage au point de vue de l'économie ou de la commodité, souvent des deux.

G. P.

Rapport de l'Association américaine d'Éclairage Électrique sur l'étalonnage des lampes à incandescence;

Par Louis Bell [1].

Dans ses grandes lignes, ce rapport conclut à l'adoption :

1° Comme étalon primaire, de la lampe à acétate d'amyle d'Hefner-Alteneck, qui est d'un usage certain et qui donne des résultats uniformes;

2° Comme photomètre, du photomètre à écran de Lummer-Brodhun qui semble particulièrement apte, en raison de sa grande sensibilité, à donner des mesures exactes ;

3° Le point le plus important de ce rapport est la condamnation de l'ancienne méthode d'étalonnage en fonction de l'intensité lumineuse dans le plan horizontal, et l'adoption de l'intensité lumineuse sphérique moyenne.

Pour effectuer les mesures d'une façon commerciale on ne pouvait songer à appliquer les méthodes ordinaires trop longues.

La mesure de l'intensité lumineuse sphérique moyenne donnerait lieu, en particulier, à des expériences trop nombreuses. Étant donnés le mode d'emploi des lampes et la construction de celles-ci, le comité a pensé que l'éclairement donné dans un plan incliné à 45° sur l'horizontale et la verticale pouvait être adopté comme donnant une approximation tolérable de l'intensité moyenne sphérique. En outre, pour obtenir en une seule mesure l'intensité moyenne dans cette direction, on recommande de faire tourner la lampe en essai autour de son axe à raison d'au moins 2 tours par seconde.

La lampe serait donc montée, sa douille en bas, sur un axe de rotation, et son axe serait incliné à 45° vers l'écran photométrique et dans le plan de la barre du photomètre.

Comme, en outre, il n'est pas commercialement indispensable de connaître la puissance exacte des lampes, mais qu'il est surtout important de savoir si une lampe donnée ne s'écarte pas trop de sa puissance nominale, on admettra comme bonnes les lampes de 16 bougies qui donneront, dans les conditions spécifiées plus haut, au moins 14,5 bougies et au plus 17,5 bougies. La moyenne de 10 lampes fournies par un même fabricant devrait tomber entre 15 et 17 bougies. Il suffira donc de placer la lampe à essayer sur le banc photométrique, dans la plate-forme tournante, et de mouvoir l'écran au contact de deux arrêts correspondant l'un au maximum, l'autre au minimum, pour vérifier si cette lampe satisfait aux conditions spécifiées. L'opération ne demande que de 15 à 30 secondes, suivant l'habileté de l'opérateur.

La lampe Hefner-Alteneck ne servirait que d'étalon primaire, son emploi pratique ne pouvant se prêter à des comparaisons rapides. Elle servirait à étalonner des lampes à incandescence qui serviraient d'étalons secondaires et qui devraient satisfaire aux conditions suivantes : leur forme devrait être d'un modèle unique, ainsi que leur douille ; leurs filaments seraient uniformes, en aspect et en section, sans être marqués d'une façon quelconque. Ces lampes seraient, par les soins du comité, convenablement datées et étalonnées à un voltage tel que leur puissance lumineuse soit exactement de 16 bougies ; cette mesure serait faite avec la plus grande précision possible ; pour éviter de les faire tourner pendant les mesures, on marquerait sur leurs douilles

---

[1] Présenté à la réunion tenue à Niagara Falls, juin 1897.

une ligne donnant la direction dans laquelle la lumière émise directement est précisément égale à la moyenne déterminée pendant la rotation. En plaçant cette marque dans la direction de l'écran photométrique et dans le plan de la barre du photomètre, la lampe à étalonner aurait, seule, besoin d'être mise en rotation.

Ses mesures seraient exprimées en bougies anglaises.

Le rendement des lampes, c'est-à-dire leur consommation en watts par bougie, leur durée et les variations de leur puissance lumineuse avec leur âge ne seraient pas considérées ; ce sont des données très importantes évidemment, mais qui ressortent plus spécialement du domaine commercial et l'on peut laisser à la concurrence entre les fabricants le soin de les fixer.

Les détails pratiques des appareils et des méthodes seront fixés ultérieurement.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

De l'action des charges électriques sur la propriété de décharge provoquée dans l'air par les rayons X ;

Par Émile VILLARI [1].

« On sait que les gaz traversés par les rayons X acquièrent la propriété de décharger les conducteurs électrisés ; j'ai démontré qu'ils conservent cette propriété, quoique diminuée, même après avoir parcouru des tubes de verre ou de plomb de 10 m de longueur, et plus encore [2]. A la suite d'autres recherches, je suis parvenu aux conclusions suivantes :

» L'air, traversé par les rayons X et insufflé contre l'extrémité d'un fil métallique à l'état naturel, conserve tout entière sa vertu de décharge.

» Insufflé contre l'extrémité d'un fil électrisé (F $\pm$), il perd complètement la propriété de décharger ensuite un électroscope (E $\pm$) ayant une charge de même signe que celle du fil.

» Il conserve, au contraire, l'aptitude à décharger un électroscope (E $\mp$) ayant une charge de signe contraire à celle du fil.

» L'air traversé par les rayons X et lancé contre les bouts rapprochés de deux fils présentant des charges contraires, perd toute propriété de décharge; de sorte qu'il agit ensuite, sur un électroscope possédant une charge de signe quelconque, comme l'air ordinaire, sans le décharger tout à fait.

» L'air traversé par les rayons X, en passant par un ozoniseur, mis en activité ou activé depuis peu, et, par conséquent, avec des charges restantes opposées, ou par un autre appareil semblable ayant deux charges contraires, perd toute vertu de décharge, et agit comme l'air ordinaire.

» L'air traversé par les rayons X agit donc dans ces expériences, comme si les molécules avaient des charges opposées, par lesquelles il déchargerait les corps électrisés.

» En neutralisant avec un fil électrisé positivement, par exemple, la charge des molécules négatives, l'air ne peut plus, avec les molécules positives restantes décharger un électroscope ayant une charge de même signe que le fil, c'est-à-dire positive ; mais il décharge un électroscope possédant une charge contraire à celle du fil, c'est-à-dire négative. Il en est de même pour les charges contraires. Si l'on neutralise les deux charges des molécules, soit avec deux fils contrairement électrisés, soit avec un ozoniseur, soit avec un autre appareil semblable ayant les deux

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 167, séance du 19 juillet.

(2) *Rendi conti della Accademia dei Lincei*, juillet et octobre 1896.

charges contraires, l'air perd toute vertu de décharge [1].

» Cette hypothèse, que nous ne donnons pourtant qu'avec réserve, facilite l'intelligence et l'interprétation des phénomènes ; elle a permis de prévoir et de découvrir certains d'entre eux. »

Sur les propriétés des gaz traversés par les rayons X et sur les propriétés des corps luminescents ou photographiques ;

Par G. SAGNAC [2].

« I. L'aspect voilé des photographies obtenues à grande distance dans mes essais de diffraction [3] des rayons X m'avait conduit à supposer que l'air traversé par les rayons X est luminescent (fluorescent ou phosphorescent). On est autorisé maintenant à penser que les radiographies obtenues à grande distance doivent être voilées par les rayons X disséminés par l'air. Cette *dissémination* a été récemment mise en évidence par M. Rœntgen [4]. Elle peut d'ailleurs être due soit à une *diffusion* proprement dite, soit à la *luminescence* de l'air (fluorescence ou phosphorescence).

» Dans l'hypothèse d'une diffusion proprement dite, les particules du gaz diffracteraient les rayons X d'après le rapport des longueurs d'onde d'onde des rayons au diamètre des molécules du gaz [5].

» On a constaté que, par la transmission à quelques mètres de distance dans l'air, les rayons X sont comme filtrés et ont acquis un plus grand pouvoir de pénétration. Il faudrait alors comparer les rayons X diffusés par l'air aux rayons lumineux, surtout bleus, diffusés par un milieu rempli de corpuscules de grandeurs comparables aux longueurs d'onde, et les rayons X transmis par l'air, aux rayons lumineux, surtout rouges, transmis par les mêmes milieux troubles. Les longueurs d'onde possibles des rayons X seraient alors comparables aux dimensions des particules des gaz, c'est-à-dire probablement inférieures à la millième partie des longueurs d'onde moyennes du spectre visible. Ce résultat ne serait pas en contradiction avec les recherches de M. Gouy sur les longueurs d'ondes possibles de rayons X.

» Alors cette diffraction des rayons X par les particules des corps se manifesterait aussi pour l'état solide. J'ai bien constaté, en particulier, qu'un grand nombre de corps [1], et spécialement les métaux, frappés par les rayons X, impressionnent, *à quelques millimètres de distance*, même à travers certaines substances, une plaque photographique dont la face sensible *nue* regarde la face du corps directement frappée par les rayons X. Mais, comme je le montrerai ultérieurement, cette action photographique à distance n'est pas due à des rayons X renvoyés par le métal.

» II. *L'hypothèse d'une luminescence des gaz* traversés par les rayons X semble plus probable et plus féconde. Elle serait encore soutenable si la dissémination des rayons X était liée à une véritable diffusion.

» Si l'on assimile les rayons X à des rayons lumineux ultra-violets [2], leur absorption par l'air est à rapprocher de l'absorption des rayons ultra-violets. Cette absorption est, sans doute, accompagnée d'une transformation des rayons X, d'une véritable luminescence.

» III. Or *un corps luminescent peut pré-*

---

[1] Actes du *Reale Instituto d'Incoraggiamento* de Naples, 6 août 1896, et Comptes rendus de la *Reale Accademia* de Naples, 12 décembre 1896.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 168, séance du 19 juillet.

[3] *Comptes rendus* du 30 mars 1896.

[4] RŒNTGEN, *Sitzungsberichte der Berl. Ak.*, mai 1897 ; *L'Éclairage Électrique*, du 17 juillet 1897.

[5] Les lois de la diffraction par un milieu trouble ont été données par Stokes et W. Struft (L. Rayleigh). Voir à ce sujet : MASCART, *Traité d'optique*, t. I, p. 335-342.

[1] Les verres en particulier. Le verre des plaques photographiques intervient ainsi par sa nature (faiblement, il est vrai, avec les plaques actuellement employées) dans le degré de sensibilité des plaques photographiques.

[2] Voir : RAVEAU, *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 249, 8 février 1896, *Journal de Physique*, 3e série, t. V, p. 113.

senter une variation importante de certaines propriétés. L'existence d'une *image latente* n'est, je pense, que la plus frappante de ces modifications, bien distincte d'ailleurs de ce qu'on entend par une altération chimique [1]. Le rapprochement des phénomènes de luminescence et des actions photographiques montre sous leur vrai jour les belles expériences de Niepce de Saint-Victor sur l'action rayonnante des corps insolés [2].

» On sait d'ailleurs que des rayons de grandes longueurs d'onde peuvent détruire l'image latente produite par des rayons de longueurs d'ondes plus courtes [3]; or, ils peuvent aussi détruire la phosphorescence; ils provoquent alors, sous forme d'émission lumineuse, la perte d'énergie emmagasinée par le corps lors de son illumination [4].

» Certains sels d'argent acquièrent, par l'éclairement, à la fois une conductibilité électrique nouvelle et une image latente [5]. De même, une plaque de soufre éclairée change de conductibilité électrique [6] et acquiert une image latente révélable en noir par la vapeur de mercure. J'ai même constaté que cette image *se renverse par une surexposition prolongée* au soleil. Une plaque de soufre est à la fois un corps luminescent et une véritable plaque photographique.

» D'une manière générale, l'énergie de luminescence peut se révéler à nous :

» 1° En se transformant en *énergie rayonnée* soit spontanément, soit sous l'influence de la chaleur ou de radiations convenables;

» 2° En servant d'aliment ou d'amorce à un changement d'état très apparent, soit spontanément, soit sous l'influence d'une action mécanique ou chimique, comme cela arrive dans le *développement photographique;*

» 3° Sans se transformer, l'énergie spéciale emmagasinée dans l'état de luminescence peut être décelée par le changement des propriétés générales du corps, par exemple les variations de la conductibilité électrique [1].

» IV. Dès lors, on est naturellement conduit à rattacher à l'état de luminescence la conductibilité électrique spéciale que présentent les gaz traversés par les rayons X. Les changements simultanés des autres propriétés des mêmes gaz viendront à l'appui de ce rapprochement.

» Les considérations précédentes font prévoir que la rapidité de la décharge d'un même conducteur placé dans différents gaz et l'intensité de la luminescence de ces mêmes gaz ne sont pas des phénomènes indépendants [2]. »

---

(1) Voir à ce sujet : DE LA BAUME PLUVINEL, *Théorie des procédés photographiques* (Paris, Gauthier-Villars).

(2) NIEPCE DE SAINT-VICTOR, *Comptes rendus*, t. LXV, p. 505; t. LIII, p. 33, etc.

(3) L'action est remarquable avec les plaques de Daguerre (CLAUDET, *Ann. de Ch. et de Phys.* (3e série), t. XXII, p. 332.

(4) BECQUEREL, *La Lumière.*

(5) S. ARRHÉNIUS, *Wien. Berichte*, (2), t. XCVI, p. 837.

(6) MONCKMANN, *Proc. R. S. L.*, t. XLVI, p. 136.

(1) Voir dans *Nature* du 15 juillet 1897, p. 261, l'exemple d'un changement considérable de pouvoir absorbant de certains verres d'urane pendant leur état de luminescence

Voir aussi, dans lord KELVIN, *Conférences et Allocutions* (trad. française, p. 124, 134, 183), comment on peut, d'après Stokes, se représenter l'état de la matière luminescente.

(2) Travail fait au laboratoire de M. Bouty, à la Sorbonne.

Expériences sur les rayons de Rœntgen;

Par A. VOLLER et B. WALTER [3].

Quand on emploie des tubes de Hittorf où le vide est poussé aussi loin que possible, l'effet calorifique des rayons cathodiques disparaît presque complètement, tandis que les rayons de Rœntgen ont encore une intensité notable. Plusieurs tubes qui émettaient des rayons X intenses sont restés en activité sans interruption pendant une 1/2 heure et même 1 heure, sans s'échauffer : d'autres devenaient à peine tièdes. Même dans les tubes à foyer, où l'anticathode devient incandescente alors qu'on obtient les résultats les plus favorables, on peut pousser le vide assez loin pour que l'incandescence n'ait

(3) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 88-104, 1897.

plus lieu, et que cependant les rayons X conservent encore une intensité suffisante et un pouvoir pénétrant considérable.

Pour faire varier la pression dans le tube, les auteurs ont employé le procédé de Dorn; dans un petit tube latéral on place un morceau de potasse caustique qu'on chauffe plus ou moins : en chauffant le tube au moyen d'une spirale traversée par un courant électrique, on peut, en réglant l'intensité de ce courant, maintenir une pression déterminée pendant aussi longtemps qu'on le désire.

Ils ont étudié au point de vue de la transparence un très grand nombre de substances et ont constaté, comme les autres expérimentateurs, que les rayons X traversent une substance donnée d'autant plus facilement que la pression était plus faible dans le tube dont ils proviennent.

En ce qui regarde la réfraction, ni le diamant, ni le cuivre n'ont donné de déviation appréciable : l'indice du diamant ne peut différer de l'unité de plus de $\pm$ 0,0002 et celui de cuivre, de $\pm$ 0,0001. Il faut remarquer que dans ces expériences, la distance entre la source et la plaque sensible était très grande vis-à-vis de la distance entre la fente et la plaque, circonstance qui eût favorisé l'observation de la déviation si elle s'était produite.

Si on considère les rayons X comme résultant des vibrations transversales de l'éther, on peut calculer d'après la formule de dispersion de Helmholtz une valeur limite de leur longueur d'onde. Comme le diamant n'absorbe que très peu ces rayons, on peut lui appliquer les formules des substances incolores. On trouve pour cette valeur, limite :

$$\lambda = 1,04 . 10^{-7} \text{cm},$$

c'est-à-dire un nombre environ 600 fois plus petit que la longueur d'onde de la lumière du sodium.

Dans les expériences analogues aux expériences de diffraction, les négatifs montrent bien des bandes claires parallèles à l'image de la fente : mais, toutes choses égales d'ailleurs, ces bandes sont de moins en moins apparentes quand la fente devient de plus en plus étroite, justement le contraire de ce qui arriverait dans une expérience faite avec la lumière. On n'a donc pas affaire à un véritable phénomène de diffraction, dont on puisse tirer une conclusion sur la longueur d'onde des rayons X.

Il est aussi impossible de constater une déviation des rayons X dans le champ magnétique, quelle que soit la direction de ce dernier.

Sur les métaux non polis, les rayons X peuvent se diffuser. L'intensité de cette diffusion dépend de la distance de la substance diffusante à la plaque sensible, de la grandeur de la surface diffusante, de l'incidence des rayons et enfin de la nature de la substance.

Les auteurs ont étudié à ce point de vue un certain nombre d'éléments, qui d'après la classification de Mendeleef se groupent comme il suit :

I. Carbone (diamant).

II. Magnésium, aluminium, soufre.

III. Fer, nickel, cobalt, cuivre, zinc, sélénium.

IV. Palladium, argent, cadmium, étain, antimoine.

V. Iridium, platine, or, mercure, plomb, bismuth.

La plus grande diffusion est provoquée par les éléments du groupe de l'argent : la diffusion est un peu plus faible dans le groupe du cuivre, notablement plus faible dans celui du platine, à peine sensible dans celui de l'aluminium et nulle pour le diamant. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Électromoteurs, leurs applications; par G. Dumont; Encyclopédie Léauté *Gauthier-Villars* et *Masson*, éditeurs.

Le livre de M. G. Dumont, fort bien ordonné, nous paraît avoir été écrit un peu précipitamment, bon nombre d'erreurs dont plusieurs assez graves se sont en effet glissées dans la rédaction de cet aide-mémoire et lui enlève malheureusement une partie de sa valeur.

L'auteur étudie et compare tout d'abord les différents moyens employés pour la distribution de l'énergie dans une usine, les avantages des transmissions électriques ressortent nettement des conclusions de cette première partie.

Après avoir donné la classification des électromoteurs, M. G. Dumont aborde le principe des moteurs à courant continu. La remarque faite par l'auteur à la page 23 est inexacte. Si en effet, dans un moteur à courant continu, laissant l'induit fixe, on fait tourner le champ inducteur seul, l'appareil ne développera aucun couple, car il faut en même temps faire provoquer une rotation synchrone du champ induit, ce qu'on obtient en faisant tourner les balais synchroniquement avec le champ inducteur.

Nous passons ensuite à l'étude théorique des différents genres de moteurs à courant continu, c'est-à-dire des moteurs série, shunt et compound, et aux différents artifices de démarrage, de réglage, de freinage, d'arrêt instantané, etc.; l'évaluation des pertes par hystérésis est entachée d'une erreur que M. Steinmetz aurait le droit de rectifier.

La théorie et la description des moteurs à champs tournants amène M. Dumont à exposer brièvement les notions de courants polyphasés de champs tournants; l'auteur n'est pas beaucoup plus heureux dans cette partie, car la formule inexacte du couple moteur de laquelle il part le conduit à des conclusions absolument en contradiction avec la théorie et l'expérience.

Une comparaison entre les électromoteurs à courant continu et à courants alternatifs et les avantages des transmissions électriques sur les transmissions mécaniques terminent ce petit ouvrage à vulgarisation auquel il ne manque, pour être aussi coté que les autres traités de la même encyclopédie, que la rectification de quelques fautes de calculs et de leurs conséquences. Nous n'avons, du reste, relevé celles-ci que pour mettre en garde les esprits non prévenus et nullement par pédantisme.

F. Guilbert.

CHRONIQUE

Action des rayons Rœntgen sur un faisceau de rayons lumineux. — M. Francke L. Woodward vient de publier dans *The Electrical World* du 26 juin et dans *The Electrical Engineer* (N. Y) du 30 juin, une expérience dont il déduit une curieuse conséquence.

Une sphère de verre mince dans laquelle on a fait le vide est noircie sur toute sa surface sauf en trois endroits A, B et C, A et B étant situés aux extrémités d'un même diamètre, C à l'extrémité d'un rayon perpendiculaire à ce diamètre. Suivant A B on fait passer un puissant faisceau lumineux; par C on peut faire pénétrer les rayons Rœntgen produits par un tube focus.

Les appareils étant disposés dans une chambre noire, on mesure l'intensité du faisceau lumineux avant son entrée et après sa sortie de la sphère. Quand le tube producteur de rayons Rœntgen n'est pas en activité, l'intensité du faisceau après son passage dans la sphère est beaucoup moindre qu'auparavant : elle diminue à mesure que l'on augmente le degré de vide de la sphère et peut descendre à un vingtième de sa valeur primitive. Quand les rayons Rœntgen pénètrent dans la sphère, l'intensité du faisceau lumineux reste sensiblement la même avant et après son passage dans la sphère.

De la diminution d'intensité qu'il a observée

quand les rayons Rœntgen n'agissaient pas, M. Woodward conclut que la propagation de la lumière ne peut se produire dans le vide. Il ne se dissimule pas combien cette conclusion est révolutionnaire et vient lui-même au-devant de l'objection que les rayons lumineux émis par le soleil doivent traverser, avant d'arriver jusqu'à nous, des espaces où le degré de vide est beaucoup plus élevé que celui que nous pouvons produire. Il cite à ce propos l'opinion qu'émettait récemment le professeur M. B. Snider, de l'institut Franklin : « Les rayons Rœntgen ne diffèrent en rien de ce nous appelons des rayons électromagnétiques; à un moment donné il sera possible de les réfracter, de les réfléchir et de reproduire avec eux tous les phénomènes que nous pouvons produire avec la lumière. Peut-être que ce que nous appelons lumière dans notre atmosphère n'est autre chose qu'une transformation de l'énergie des rayons cathodiques émis par le soleil lui-même et ne provient pas directement du soleil. »

Dans le fait que l'intensité du faisceau n'est pas modifiée par son passage dans la sphère vide quand les rayons Rœntgen y pénètrent, M. Woodward voit une confirmation de la théorie de Tesla sur la nature de ces rayons, théorie d'après laquelle les rayons Rœntgen seraient dus, comme il est admis généralement pour les rayons cathodiques, à une projection de particules matérielles. Dans l'expérience de l'auteur ces molécules aideraient à la propagation de la lumière.

On voit que les conclusions que M. Woodward tire de son expérience sont difficilement conciliables avec les idées actuelles sur la lumière et les rayons Rœntgen. Comme son expérience est des plus simples nous espérons qu'au moins un de nos lecteurs la vérifiera, et c'est principalement dans ce but que nous la signalons.

La pénétration des métaux par les rayons X. — A la dernière séance de l'Académie des sciences (19 juillet), M. Radiguet présentait, par l'entremise de M. Lippmann, une série de 12 radiographies démontrant, comme la radiographie d'un fusil de chasse obtenue par M. Rœntgen et reproduite dans *L'Éclairage Électrique* du 17 juillet (p. 164), la pénétration des métaux par les rayons X et la possibilité d'appliquer ces rayons à la recherche des imperfections, soufflures, pailles, etc., dans les métaux les plus divers.

Les objets métalliques expérimentés comprennent : 1° une barre d'aluminium, de 35 mm de diamètre; 2° une serrure ordinaire, munie de ses deux plaques de garde; 3° un socle de fonte pour la construction d'une machine à vapeur horizontale (modèle en réduction); 4° une clef de fonte métallique ; 5° une pièce de 20 francs; 6° un éclat de verre de cylindre d'ébonite ; 7° une médaille de l'Exposition de 1844, en bronze; 8° une pièce de 5 fr; 9° une montre en argent; 10° une pièce de 10 cent.; 11° un jeton d'expert en douane (argent); 12° une médaille en aluminium, dont le revers a été limé.

On constate : 1° dans la barre d'aluminium, les défauts de soufflures écrasées par l'étirage; 2° les organes intérieurs de la serrure; on apprécie parfaitement la forme prismatique du pène; 3° les différentes épaisseurs du socle de fonte, soit dans la moulure, soit dans la partie concave, sont très visibles. Une pièce de 10 francs placée sous le socle, lequel est d'une épaisseur moyenne de 7 mm, donne une tache noire très accentuée. On distingue deux taches qui sont les tenons réservés sous le socle pour recevoir les tiges de fixage ; 4° des défauts de fonte dans l'intérieur de la clef sont indiqués ; 5° sur le cliché quelques détails de l'effigie sont visibles; 6° le morceau d'ébonite a disparu; 7° la face et le revers de la médaille sont très visibles ; 8° et 11° les pièces d'argent ne montrent pas grand détail; 9° les organes de la montre radiographiée au travers du cadran se montrent très distinctement, le boitier en argent a été conservé, le verre était relevé; 10° la face et le revers de la pièce sont très visibles; 12° la pièce d'aluminium a complètement disparu.

Il est presque inutile d'ajouter que, pour obtenir les meilleurs résultats, il ne faudrait pas réunir sur la même plaque et soumettre au même régime des métaux aussi différents que ceux qui ont été soumis pour cette expérience.

Chauffage des chaudières par l'incinération des ordures à Shoreditch. — L'usine d'éclairage électrique que la municipalité de Shoreditch, en Angleterre, vient d'inaugurer le 28 juin dernier est caractérisée par deux points: Chauffage exclusif des chaudières par la combustion des ordures ménagères; et emploi d'accumulateurs thermiques qui rendent l'étude de son fonctionnement particulièrement intéressante. Nous décrirons rapidement

cette usine, nous proposant de revenir plus tard sur son fonctionnement et son exploitation, si les résultats obtenus sont aussi favorables qu'on peut l'espérer.

Les destructeurs, au nombre de 12, ont chacun 2,3125 m² de surface de grille ; la nécessité de brûler des mélanges parfois peu combustibles a forcé à employer un tirage très puissant; la cheminée a 45,70 m de hauteur et 2,15 m de diamètre au sommet; en plus, 3 ventilateurs pouvant fournir chacun 226,5 m³ d'air à la minute servent en cas de besoin à obtenir un tirage forcé.

Les gaz chauds provenant de la combustion passent dans des chaudières multitubulaires. Celles-ci, au nombre de 6 (une chaudière pour 2 destructeurs), qui ont une surface de chauffe de 120,77 m² chacune ; elles fournissent de la vapeur à la pression de 14,08 kg : cm².

Comme il est nécessaire de brûler les ordures régulièrement pendant les 24 heures tous les jours et afin de ne pas laisser perdre la vapeur engendrée dans la journée, on a adopté un système d'accumulateur thermique du système Halpin. Cet accumulateur est analogue, en principe, aux chaudières des locomotives de Lamm et Franck : il se compose d'un grand cylindre, de 10,67 m de longueur et 2,14 m de diamètre intérieur dans lequel l'excès de vapeur des chaudières vient barbotter dans de l'eau froide qu'elle échauffe peu à peu. Lorsque vient le soir le cylindre est complètement rempli d'eau à la même température que celle de la vapeur à 14 atmosphères (195° à 196° C); on alimente les chaudières, aux heures de forte charge, avec cette eau chaude, en sorte que le foyer n'a à fournir que la chaleur de vaporisation, ce qui permet d'obtenir, à ce moment, de chaque chaudière, un débit de vapeur supérieur d'environ un tiers à celui qu'elles pourraient fournir si elles étaient alimentées avec de l'eau froide.

Lorsque l'usine aura reçu son complet développement, on se propose d'employer de nouveaux accumulateurs qui alimenteront directement les moteurs, aux heures de forte charge, par la vapeur dégagée par l'eau chaude, comme dans les locomotives sans foyer.

Dans ce but, les moteurs à vapeur ont été munis de régulateurs spéciaux permettant d'obtenir un bon rendement et une régulation efficace lorsque la pression varie entre 14 et 8,5 kg : cm².

Les groupes générateurs comprennent :

3 moteurs Willans, à 3 séries de cylindres, accouplés à 3 dynamos à courant continu, d'une puissance de 160 kilowatts chacune, à la tension de 1100 volts.

3 moteurs Willans, du même modèle, accouplé à 3 dynamos de 70 kilowatts à 165 volts.

Les premiers groupes ont une vitesse angulaire de 350 tours par minute et les seconds de 460 tours par minute.

Un survolteur de 200 ampères et 75 volts permet la charge d'une batterie d'accumulateurs.

Un transformateur rotatif permet de transformer le courant à 1100 volts en courant à 165 volts ou réciproquement, afin que, aux heures de faible charge, on puisse ne maintenir en marche qu'un seul groupe, tout en assurant le service à faible et à haute tension.

Le courant à haute tension sert à la distribution dans les quartiers éloignés ; il est ramené à la tension de 165 volts, au moyen de transformateurs tournants placés dans 3 sous-stations, qui sont situées dans les quartiers à alimenter. Chaque transformateur se compose d'un champ magnétique bipolaire et d'une armature à double enroulement; il reçoit le courant à la tension de 1 000 ou 1 100 volts et fournit un courant de 400 ampères à 165 volts; sa vitesse angulaire est de 450 tours à la minute.

Les armatures des dynamos et des transformateurs sont du type à tambour avec enroulements Eickmeyer.

La batterie d'accumulateurs peut fournir un courant de 170 ampères sous 165 volts pendant 6 heures ou de 272 ampères sous 165 volts pendant 3 heures; elle peut fournir sans être détériorée un courant de 350 ampères.

Le prix de vente de l'énergie électrique sera de 0,63 fr par kilowatt-heure au maximum ; lorsqu'un abonné dépensera une quantité d'énergie électrique supérieure à celle qui correspond à sa demande maxima pendant 2 heures par jour, le surplus lui sera vendu à raison de 0,42 fr le kilowatt-heure. Pour la force motrice employée toute la journée, le prix sera de 0,315 fr et si l'emploi des moteurs est limité, en toute saison, aux heures de jour seulement, le kilowatt-heure ne sera facturé que 0,21 fr.

L'incinération des ordures ménagères étant un service que la municipalité doit effectuer indépendamment de l'éclairage, on estime que cette usine

permettra d'engendrer le courant avec un combustible gratuit.

D'après les prévisions, la quantité d'ordures recueillie tous les jours permettra d'assurer le service de l'éclairage sans qu'il soit nécessaire d'acheter du charbon.

L'enrichissement du gaz d'huile par l'acétylène pour l'éclairage des wagons. — La maison Pintsch vient de faire, sous le contrôle de l'administration des chemins de fer de l'État prussien, une série d'essais qui a conduit celle-ci à l'adoption d'un mélange de gaz d'huile et d'acétylène pour l'éclairage des wagons.

Dans ces essais il a d'abord été constaté que, si l'on place sur un feu de bois un cylindre ordinaire de gaz d'huile chargé d'acétylène à une pression de 6 atm, la soudure fond, l'acétylène s'échappe et brûle naturellement, tandis qu'un cylindre à soudure forte, dans les mêmes conditions, fait explosion. Dans une autre expérience on a branché sur un de ces cylindres un tuyau de 5 mm de diamètre et de 2 m de long, et ce tuyau a été chauffé en un point situé à une distance de 1,50 m du cylindre; quand il a commencé à atteindre la température du rouge vif, le cylindre a volé en éclats. D'autres essais ont démontré que l'acétylène non comprimé ferait explosion, dans les mêmes conditions, l'explosion étant alors incomparablement moins dangereuse.

Ces résultats ont fait écarter l'emploi de l'acétylène et d'autres expériences ont été faites sur des mélanges de gaz contenant de 20 à 80 p. 100 de ce dernier gaz et sous une pression initiale de 7 à 12 atmosphères. Ces expériences ont montré qu'un mélange de 30 p. 100 d'acétylène, de 70 p. 100 de gaz d'huile ne présentait pas plus de dangers que le gaz d'huile seul. Dans un tel mélange comprimé à 7 atmosphères, la pression, au moment de l'explosion, ne doit pas, théoriquement du moins, dépasser 40 atmosphères, pression que les réservoirs sont capables de supporter; l'expérience a montré qu'en réalité la pression n'atteint pas la moitié de cette valeur, sans doute par suite du refroidissement produit par le gaz d'huile dont la décomposition ne paraît pas se produire. En outre il a été reconnu que la température nécessaire pour provoquer l'explosion est beaucoup plus élevée que dans le cas de l'acétylène seul; ainsi il a fallu chauffer jusque vers 1000° un tuyau soudé à un cylindre contenant un mélange à volumes égaux de gaz de houille et d'acétylène pour déterminer l'explosion du mélange, sans d'ailleurs rompre le cylindre.

L'ensemble des essais ayant montré qu'un mélange à 30 p. 100 d'acétylène n'est pas plus dangereux que le gaz d'huile seul, tout en donnant, pour la même dépense, une quantité de lumière plus grande, les essais d'éclairage des wagons seront poursuivis avec ce mélange.

Depuis la rédaction de cette note, M. Hubou, qui s'est beaucoup occupé de l'éclairage des trains par l'acétylène, a publié dans le *Génie civil* du 3 juillet un long article sur les essais de la maison Pintsch. Il ne partage les appréhensions de cette maison sur les dangers encourus par l'emploi de l'acétylène seul pour l'éclairage.

« Ces conclusions, dit-il, nous paraissent trop absolues, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte en s'appuyant sur les essais mêmes de cette maison et sur ceux de MM. Berthelot et Vieille. Les explosions constatées l'ont été sur des récipients résistants chargés d'acétylène à des pressions dépassant 7 atmosphères et chauffés au rouge. L'onde explosive produite par la décomposition de l'acétylène se transmet à toute la masse, parce que ce gaz est fortement comprimé. Mais il n'en est plus de même si la pression initiale est faible : une élévation de température soit du récipient lui-même, soit d'un tube en communication avec lui peut arriver à produire une décomposition de l'acétylène accompagnée d'une élévation de pression, mais pas d'explosion. Les récipients à parois trop résistants doivent être exclus : on a vu que des récipients à soudure tendre peuvent être employés sans danger d'explosion, même avec une pression intérieure de 8 atmosphères. Enfin il est toujours facile de s'opposer à tout retour de flamme dans la canalisation reliant les brûleurs au récipient, en plaçant à l'origine de cette canalisation une ou plusieurs toiles métalliques.

» Avec ces précautions et en emmagasinant l'acétylène à une pression de deux atmosphères seulement, on peut bien l'utiliser seul sans danger pour l'éclairage des voyageurs. Les récipients qui servent pour l'éclairage au gaz d'huile ayant une contenance de 415 litres, on dispose encore de $415 \times 2 = 830$ litres d'acétylène permettant, avec 3 becs Bray brûlant 12 litres à l'heure, d'assurer l'éclairage d'une voiture de 1re classe pendant plus de vingt heures avant qu'on ait besoin de renou-

veler le chargement d'acétylène : c'est à peu près la durée qu'on obtient avec du gaz d'huile comprimé à 4 atmosphères.

» Notre avis formel est qu'on peut employer l'acétylène seul, pourvu qu'il soit à basse pression, soit en utilisant les réservoirs actuels à gaz d'huile soit en le fabriquant sur la voiture même au moyen de générateurs spéciaux et au fur et à mesure de sa consommation aux becs. »

A l'appui cette opinion, M. Hubon rappelle, dès le début de son article, les résultats des essais faits l'an dernier par la Compagnie de l'Est où le nouveau mode d'éclairage, essayé sur deux voitures de 1re classe, fonctionna régulièrement pendant trois mois à la pleine satisfaction des voyageurs et ceux de la Compagnie de Lyon, commencés dès la fin de 1895, et qui n'ont jamais été interrompus. Dans ces derniers, on employait d'abord de l'acétylène comprimé dans les réservoirs à gaz d'huile à la pression ordinairement adopté pour ce dernier gaz, soit 6 atmosphères au maximum ; les becs ordinaires étaient tout simplement remplacés par des becs Bray donnant 1,5 carcel ; c'est ainsi qu'a été brillamment éclairé, il y a plus d'un an, le train présidentiel au cours d'un voyage de M. Félix Faure dans le Midi. Depuis la publication des résultats des expériences de MM. Berthelet et Vieille il a paru prudent de ne pas dépasser une pression de 2 atmosphères bien qu'en pratique les circonstances dans lesquelles ces savants sont parvenus à faire exploser l'acétylène comprimé à 6 atmosphères environ (détonation d'une amorce de fulminate, fil métallique rougi, étincelle électrique) ne puissent se produire à moins d'intention criminelle.

Nouveau transformateur rotatif Westinghouse. — Un transformateur rotatif d'un nouveau modèle vient d'être installé aux usines électrochimiques de Niagara pour redresser le courant alternatif des chutes en courant continu. D'après *The Electrical World* ce transformateur différerait de tous ceux qui l'ont précédé en ce qu'il ne comporte pas d'enroulement inducteur spécial, le champ inducteur étant engendré par l'armature. L'ensemble de l'appareil est semblable aux transformateurs ordinaires, mais l'entrefer a été réduit à environ 1,5 mm. Ce transformateur est à démarrage automatique ; il permet de fournir du courant continu à une tension variant de 125 à 165 volts ; le réglage de la tension est obtenu au moyen d'un dispositif agissant sur le transformateur statique et permet de réduire la tension qui est au primaire de 2 200 volts à 100 ou 140 volts.

Sonnerie automatique pour protéger les passages à niveau non gardés. — Les directions des chemins de fer de Halle, Breslau et Posen ont fait dernièrement installer, le long de leurs voies ferrées, des sonneries d'un nouveau système destinées à protéger les passages à niveau non gardés, cette protection étant insuffisamment assurée par les grosses sonneries de route Siemens dont les avertissements sont perçus ou trop tôt ou trop tard.

Dans le système Hattener, dont le *Portefeuille économique des machines* vient de publier une prescription détaillée et que résume le *Génie civil*, chaque sonnerie fonctionne séparément et se trouve mise en marche par le train lui-même, dès que celui-ci actionne un ferme-circuit installé à une distance convenable du passage à niveau. La sonnerie marche automatiquement jusqu'à ce que le train actionne un second ferme-circuit. La protection du passage non gardé est donc parfaitement assurée.

L'appareil comprend une ligne aérienne, à fil simple, allant de la première sonnerie à la station suivante ; à cette station, la ligne est raccordée à l'un des pôles d'une batterie de piles, dont l'autre pôle est à la terre. Les sonneries sont reliées au conducteur aérien par des dérivations en câbles sous plomb logés dans des tuyaux en fer étiré. Trois ferme-circuits assurent le fonctionnement de chaque sonnerie : deux pour les contacts de fonctionnement qui sont placés à des distances convenables de chaque côté de l'appareil ; le troisième, appelé contact de repos, est placé à proximité du passage à niveau même ; ils sont tous les trois en connexion avec la sonnerie. Les ferme-circuits extrêmes ne fonctionnent que dans un seul sens de marche des trains ; le ferme-circuit intermédiaire, qui commande l'arrêt de la sonnerie, fonctionne, au contraire, dans les deux sens. Le contact de sonnerie se fait sur un rail de pression placé à côté et à l'extérieur du rail de la voie.

La source de courant est constituée par des piles Fleischer. L'expérience a montré qu'une seule sonnerie, pour un passage de 8 à 10 trains par jour, pouvait fonctionner 12 mois avec une batterie de 25 éléments montés en série.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 7 Août 1897. 4e Année. — N° 33.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DÉTERMINATION DES INTENSITÉS DES COURANTS

DANS LES TRANSMISSIONS PAR COURANTS POLYPHASÉS

Pour simplifier notre étude nous nous bornerons au cas d'une transmission par courants triphasés avec montage en étoile, bien que les calculs puissent facilement être étendus au cas d'un nombre quelconque de courants. Les bobines I, II, III (fig. 1)

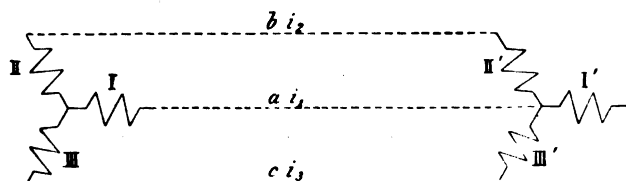


Fig. 1.

seront en fait les bobines induites d'un alternateur; les bobines I′, II′, III′, les bobines d'un moteur ou d'un transformateur; *a*, *b*, *c* seront les conducteurs de transmission.

Nous désignerons respectivement par R_1, R_2, R_3 les résistances ohmiques des trois bobines I, II, III, par R_1', R_2', R_3' celles des trois autres, par ρ_1, ρ_2, ρ_3 celles des trois conducteurs.

Nous appellerons E_1, E_2, E_3, E_1', E_2', E_3' les forces électromotrices existant à un certain moment dans les diverses bobines, e_1, e_2, e_3 celles qui existent dans les conducteurs *a*, *b*, *c* et nous conviendrons de compter une force électromotrice positivement lorsque le courant correspondant va du centre de l'étoile des bobines I, II, III, au centre de l'étoile des bobines I′, II′, III′.

Enfin nous désignerons par i_1, i_2, i_3 les intensités des courants dans les circuits I*a*I′, II*b* II′, III*c* III′.

La force électromotrice totale dans le premier de ces circuits est $E_1 + e_1 + E'_1$; la perte de tension résultant de la résistance ohmique du circuit est i_1 $(R_1 + \rho_1 + R'_1)$; par suite la différence de potentiel entre les centres des deux étoiles est

$$E_1 + e_1 + E'_1 - i_1 (R_1 + \rho_1 + R'_1).$$

Par conséquent les différences de potentiel donnant naissance aux courants dans les deux autres branches seront : pour la branche *b* II II′,

$$E_1 + e_1 + E'_1 - i_1 (R_1 + \rho_1 + R'_1) - (E_2 + e_2 + E'_2),$$

et pour la branche III *c* III′

$$E_1 + e_1 + E'_1 - i_1 (R_1 + \rho_1 + R'_1) - (E_3 + e_3 + E'_3);$$

de sorte que l'application de la loi d'Ohm nous donne

$$\left.\begin{aligned} i_2 (R_2 + \rho_2 + R'_2) &= E_1 + e_1 + E'_1 - i_1 (R_1 + \rho_1 \\ &\quad + R'_1) - (E_2 + e_2 + E'_2) \\ i_3 (R_3 + \rho_3\ R'_3) &= E_1 + e_1 + E'_1 - i_1 (R_1 + \rho_1 \\ &\quad + R'_1) - (E_3 + e_3 + E'_3). \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

On pourrait obtenir une troisième équation de la même forme, mais elle se ramènerait à ces dernières équations, car on pourrait l'obtenir en les retranchant l'une de l'autre. La troisième condition nécessaire à la détermination des intensités est donnée en écrivant que, d'après la loi de Kirchhoff, la somme des intensités est nulle au centre de chacune des étoiles :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0. \quad (2)$$

Il faut maintenant expliciter les expressions des forces électromotrices. E_1, E_2, E_3 sont les forces électromotrices induites à un moment donné dans l'armature de la génératrice; e_1, e_2, e_3 sont les forces contre-électromotrices provenant de la self-induction et de l'induction mutuelle des fils; enfin E'_1, E'_2, E'_3 sont les forces contre-électromotrices du moteur ou du transformateur.

Appelons n_1, n_2, n_3 les coefficients de self-induction des fils *a b c*, N_1 le coefficient d'induction mutuelle de *b* sur *c*, N_2 celui de *c* sur *a*, N_3 celui de *a* sur *b*; nous aurons pour les valeurs absolues des forces contre-électromotrices induites dans les fils de transmission

$$n_1 \frac{di_1}{dt} + N_2 \frac{di_3}{dt} + N_3 \frac{di_3}{dt},$$

$$n_2 \frac{di_2}{dt} + N_3 \frac{di_3}{dt} + N_1 \frac{di_1}{dt},$$

$$n_3 \frac{di_3}{dt} + N_1 \frac{di_1}{dt} + N_2 \frac{di_2}{dt}.$$

Mais il y a lieu de tenir compte des forces contre-électromotrices développées en I, II, III; les coefficients d'induction relatifs à ces portions de circuit seront, en général, des fonctions complexes des intensités i_1, i_2, i_3 par suite de la présence du fer dans les armatures, fer dont l'aimantation dépend de ces intensités; nous désignerons ces coefficients par $f_1 (i_1, i_2, i_3)$, $f_2 (i_1, i_2, i_3)$, $f_3 (i_1, i_2, i_3)$ et nous avons pour les expressions complètes des forces-électromotrices e_1, e_2, e_3 :

$$e_1 = -\left(n_1 \frac{di_1}{dt} + N_2 \frac{di_2}{dt} + N_3 \frac{di_3}{dt}\right) - f_1 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_1}{dt},$$

$$e_2 = -\left(n_2 \frac{di_2}{dt} + N_3 \frac{di_3}{dt} + N_1 \frac{di_1}{dt}\right) - f_2 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_2}{dt},$$

$$e_3 = -\left(n_3 \frac{di_3}{dt} + N_1 \frac{di_1}{dt} + N_2 \frac{di_2}{dt}\right) - (f_3 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_3}{dt}.$$

Pour les forces contre-électromotrices dans le moteur ou le transformateur, nous aurons, en désignant par f'_1, f'_2, f'_3 les coefficients correspondants,

$$E'_1 = f'_1 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_1}{dt},$$

$$E'_2 = f'_2 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_2}{dt},$$

$$E'_2 = f'_3 (i_1, i_2, i_3) \frac{di_3}{dt}.$$

Substituant ces expressions des forces électromotrices dans les égalités (1), il vient

$$\left.\begin{aligned} & i_2 (R_2 + \rho_2 + R'_2)\ i_2 = E_1 - E_2 \\ & - i_1 (R_1 + \rho_1 + R'_1) - \frac{di_1}{dt} (n_1 - N_1 + f_1 + f'_1) \\ & + \frac{di_2}{dt} (n_2 - N_2 + f_2 + f'_2) \\ & i_3 (R_3 + \rho_3 + R'_3) = E_1 - E_3 \\ & - i_1 (R_1 + \rho_1 + R'_1) - \frac{di_1}{dt} (n_1 - N_1 + f_1 + f'_1) \\ & + \frac{di_3}{dt} (n_3 - N_3 + f_3 + f'_3) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

équations qui, avec

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (2)$$

permettront de déterminer les intensités [1].

Les équations (3) se simplifient beaucoup

[1] Remarquons que dans les équations (3) il peut être tenu compte de l'effet d'une capacité en modifiant convenablement les coefficients d'induction.

lorsque les résistances ohmiques des trois branches sont égales.

$$R_1 + \rho_1 + R'_1 = R_2 + \rho_2 + R'_2 = R_3 + \rho_3 + R'_3,$$

et que les coefficients d'induction sont égaux

$$n_1 - N_1 + f_1 + f'_1 = n_2 - N_2 + f_2 + f'_2 = n_3 - N_3 + f_3 + f'_3.$$

Il vient alors, en supprimant pour simplifier l'écriture les indices inférieurs,

$$\left.\begin{aligned} (R + \rho + R')(i_1 + i_2) &= E_1 - E_2 \\ - (n - N + f + f') &\left(\frac{di_1}{dt} - \frac{di_2}{dt}\right), \\ (R + \rho + R')(i_1 + i_3) &= E_1 - E_3 \\ - (n - N + f + f') &\left(\frac{di_1}{dt} - \frac{di_3}{dt}\right), \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

ou, en remplaçant i_1 et $\frac{di_1}{dt}$ par leurs valeurs

$$i_1 = -(i_2 + i_2) \qquad \frac{di_1}{dt} = -\left(\frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}\right),$$

tirées de la relation (2)

$$-(R + \rho + R')\, i_3 = E_1 - E_2 + (n - N + f + f')\left(2\,\frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}\right),$$

$$-(R + \rho + R')\, i_2 = E_1 - E_3 + (n - N + f + f')\left(\frac{di_2}{di} + 2\,\frac{di_3}{dt}\right),$$

ou encore, par addition et tenant compte de la relation (2)

$$\left.\begin{aligned} 3(n - N + f + f')\frac{di_1}{dt} - 2\,E_1 + E_2 + E_3 & \\ + (R + \rho + R')\, i_1 = 0, & \\ 3(n - N + f + f')\frac{di_2}{dt} - 2\,E_2 + E_3 + E_1 & \\ + (R + \rho + R')\, i_2 = 0, & \\ 3(n - N + f + f')\frac{di_3}{dt} - 2\,E_3 + E_1 + E_2 & \\ + (R + \rho + R')\, i_3 = 0. & \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Si l'on admet que les coefficients f et f' sont constants, ce qui est l'hypothèse la plus simple, ces trois équations différentielles simultanées donnent

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= e^{-\alpha}\left(C_1 - \int \frac{E_2 + E_3 - 2\,E_1}{3(n - N + f + f')}\, e^{\alpha}\, dt\right) \\ i_2 &= e^{-\alpha}\left(C_2 - \int \frac{E_3 + E_1 + 2\,E_2}{3(n - N + f + f')}\, e^{\alpha}\, dt\right) \\ i_3 &= e^{-\alpha}\left(C_3 - \int \frac{E_1 + E_2 - 2\,E_3}{3(n - N + f + f_1)}\, e^{\alpha}\, dt\right) \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

où C_1, C_2, C_3 sont des constantes d'intégration, et

$$\alpha = \int \frac{R + \rho + R'}{3(n - N + f + f')}\, dt.$$

Admettons maintenant que les forces électromotrices E_1, E_2, E_3, sur lesquelles nous n'avons fait encore aucune hypothèse, soient des fonctions sinusoïdales du temps, de même période, mais de phases différentes, et posons

$$E_1 = A \sin \frac{2\pi t}{T},$$

$$E_2 = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2\right)$$

$$E_3 = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_3\right),$$

T étant la période et φ_2 et φ_3 les différences de phases de E_2 et E_3, par rapport à E_1.

Les résistances étant indépendantes du temps, si l'on suppose que les coefficients d'induction le sont aussi, on aura

$$\alpha = \int \frac{R + \rho + R'}{3(n - N + f + f')}\, dt = \frac{R + \rho + R'}{3(n - N + f + f')}\, t$$

et si pour abréger, on écrit

$$\left.\begin{aligned} R + \rho + R' &= r \\ 3(n - N + f + f') &= i \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

on aura

$$\alpha = \frac{r}{i}.$$

Les valeurs trouvées pour les circuits deviendront alors

$$i_2 = e^{-\frac{r}{i}t}\left(C_1 - \int \frac{E_2 + E_3 - 2\,E_1}{i}\, e^{\frac{r}{i}t}\, dt\right)$$

$$i_2 = e^{-\frac{r}{i}t}\left(C_1 - \int \frac{E_3 + E_1 - 2\,E_2}{i}\, e^{\frac{r}{i}t}\, dt\right)$$

$$i_2 = e^{-\frac{r}{i}t}\left(C_3 - \int \frac{E_1 + E_2 - 2\,E_3}{i}\, e^{\frac{r}{i}t}\, dt\right)$$

et si nous y substituons les expressions sinu-

soïdales des forces électromotrices, nous avons

$$i_1 = e^{-\frac{r}{i}t}\left(C_1 - \frac{1}{i}\int A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt\right.$$

$$-\frac{1}{i}\int A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi^3\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt$$

$$\left.+\frac{2}{i}\int A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt\right). \qquad (8)$$

et deux autres expressions analogues pour i_2 et i_3.

Or on a

$$\int A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt$$

$$= A\,\frac{e^{\frac{r}{i}t}\left(\frac{r}{i}\sin\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi t}{T}\right)}{\left(\frac{r}{i}\right)^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2},$$

$$\int A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt$$

$$= A\,\frac{e^{\frac{r}{i}t}\left(\frac{r}{i}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)-\frac{2\pi}{T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)\right)}{\left(\frac{r}{i}\right)^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2},$$

$$\int \sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3\right)e^{\frac{r}{i}t}\,dt$$

$$= A\,\frac{e^{\frac{r}{i}t}\left(\frac{r}{i}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3\right)-\frac{2\pi}{T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3\right)\right)}{\left(\frac{r}{i}\right)^2+\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}.$$

En substituant ces valeurs dans l'expression (8) et ses analogues, on a

$$i_1 = C_1 e^{-\frac{r}{i}t} + \frac{A}{r_2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}$$

$$\left\{ \sin\frac{2\pi t}{T}\left[r(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3) - \frac{2\pi i}{T}(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)\right]\right.$$

$$\left.-\cos\frac{2\pi t}{T}\left[r(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3) + \frac{2\pi i}{T}(2-\cos\varphi_2-\cos_3)\right]\right\}$$

et deux autres expressions analogues pour i_2 et i_3.

Lorsque l'état stationnaire est atteint, c'est-à-dire pour des valeurs de t considérables, les intensités seront des fonctions périodiques du temps données par :

$$\left.\begin{aligned}
i_1 &= \frac{A}{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}\left\{\begin{aligned}&\sin\frac{2\pi t}{T}\left[r\left(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3\right) - \frac{2\pi i}{T}\left(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3\right)\right]\\ &-\cos\frac{2\pi t}{T}\left[r\left(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3\right)+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3\right)\right]\end{aligned}\right\}\\
i_2 &= \frac{A}{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}\left\{\begin{aligned}&\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)\left[r\left(2-\cos(\varphi_3-\varphi_2)-\cos\varphi_2\right)-\frac{2\pi i}{T}\left(\sin(\varphi_3-\varphi_2)\right.\right.\\ &\left.\left.+\sin(2\pi-\varphi_3)\right)\right]-\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\right)\left[r\left(\sin(\varphi_3-\varphi_2)+\sin(2\pi-\varphi_2)\right)\right.\\ &\left.+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos(\varphi_3-\varphi_2)-\cos\varphi_2\right)\right]\end{aligned}\right\}\\
i_3 &= \frac{A}{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}\left\{\begin{aligned}&\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3\right)\left[r\left(2-\cos\varphi_3-\cos(\varphi_2-\varphi_3)\right)-\frac{2\pi i}{T}\left(\sin(\varphi_2-\varphi_3)\right.\right.\\ &\left.\left.+\sin(2\pi-\varphi_3)\right)\right]-\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3\right)\left[r\left(\sin(\varphi_2-\varphi_3)+\sin(2\pi-\varphi_3)\right)\right.\\ &\left.+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos\varphi_3-\cos(\varphi_2-\varphi_3)\right)\right]\end{aligned}\right\}
\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Les instants les plus intéressants à considérer sont ceux pour lesquels les intensités sont nulles ou maxima.

Ceux pour lesquels ces intensités sont nulles sont donnés par l'équation

$$\sin\frac{2\pi t}{T}\left[r\,(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3)-\frac{2\pi i}{T}(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)\right]=\cos\frac{2\pi t}{T}\left[r\,(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)+\frac{2\pi i}{T}(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3)\right] \qquad (10)$$

et les deux analogues qu'on déduit de (9). A ces valeurs de t correspondent trois angles définis par les relations

$$\psi_1=\frac{2\pi t}{T}\qquad \psi_2=\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2\qquad \psi_3=\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3$$

qui représentent les retards de phase des courants par rapport aux forces électromotrices. Ces retards de phase sont donc données par les relations

$$\left.\begin{aligned}
\operatorname{tang}\psi_1&=\frac{r\,(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3\right)}{r\,(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3)-\frac{2\pi i}{T}\left(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3\right)},\\
\operatorname{tang}\psi_2&=\frac{r\left(\sin(\varphi_3-\varphi_2)+\sin(2\pi-\varphi_2)\right)+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos(\varphi_3-\varphi_2)-\cos\varphi_2\right)}{r\left(2-\cos(\varphi_3-\varphi_2)-\cos\varphi_2\right)-\frac{2\pi i}{T}\left(\sin(\varphi_3-\varphi_2)+\sin(2\pi-\varphi_2)\right)},\\
\operatorname{tang}\psi_3&=\frac{r\left(\sin(\varphi_2-{}_3)+\sin(2\pi-\varphi_3)\right)+\frac{2\pi i}{T}\left(2-\cos(\varphi_2-\varphi_3)-\cos\varphi_3\right)}{r\left(2-\cos(\varphi_2-\varphi_3)-\cos\varphi_3\right)-\frac{2\pi i}{T}\left(\sin(\varphi_2-\varphi_3)+\sin(2\pi-\varphi_3)\right)}.
\end{aligned}\right\}\qquad (11)$$

De ces relations on déduit :

$$r\,(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)+\frac{2\pi i}{T}(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3)=\sin\psi_1\sqrt{2}\sqrt{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}\sqrt{3-2\cos\varphi_2-2\cos\varphi_3+\cos(\varphi_2-\varphi_3)},$$

et

$$r\,(2-\cos\varphi_2-\cos\varphi_3)-\frac{2\pi i}{T}(\sin\varphi_2+\sin\varphi_3)=\cos\psi_1\sqrt{2}\sqrt{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}\sqrt{3-2\cos\varphi_2-2\cos\varphi_3+\cos(\varphi_2-\varphi_3)}$$

et quatre autres relations analogues en $\sin\psi_2$, $\cos\psi_2$, $\sin\psi_3$ et $\cos\psi_3$.

A l'aide de ces relations on peut simplifier les expressions (9) des intensités qui deviennent, toutes réductions faites,

$$\left.\begin{aligned}
i_1&=\frac{\sqrt{2}\,A}{\sqrt{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}-\psi_1\right)\sqrt{3-2\cos\varphi_2-2\cos\varphi_3+\cos(\varphi_2-\varphi_3)}\\
i_2&=\frac{\sqrt{2}\,A}{\sqrt{r_2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_2-\psi_2\right)\sqrt{3-2\cos(\varphi_3-\varphi_2)-\cos(2\pi-\varphi_2)+\cos\varphi_3}\\
i_3&=\frac{\sqrt{3}\,A}{\sqrt{r^2+\left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}}\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_3-\psi_3\right)\sqrt{3-2\cos(\varphi_2-\varphi_3)-\cos(2\pi-\varphi_3)+\cos\varphi_2}
\end{aligned}\right\}\qquad (12)$$

En pratique on a pour φ_2 et φ_3 les systèmes suivants :

$$\varphi_2=120°,\qquad \varphi_3=240°$$

ou

$$\varphi_2=60°,\qquad \varphi_3=120°.$$

Dans le premier cas les expressions (11) don-

nant les différences de phases des courants par les forces électromotrices deviennent

$$\operatorname{tang}\psi_1 = \frac{\frac{2\pi i}{T}\sqrt{3}}{r\sqrt{3}} = \frac{2\pi i}{Tr},$$

$$\operatorname{tang}\psi_2 = \frac{2\pi i}{Tr},$$

$$\operatorname{tang}\psi_3 = \frac{2\pi i}{Tr};$$

c'est-à-dire que les *trois déplacements relatifs des intensités des courants par rapport aux forces électromotrices sont égaux entre eux.*

Si nous appelons ψ cette valeur commune, les intensités des courants seront données par

$$i_1 = \frac{\sqrt{3}A}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \psi\right)$$

$$i_2 = \frac{\sqrt{3}A}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2 - \psi\right)$$

$$i_3 = \frac{\sqrt{3}A}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_3 - \psi\right)$$

Dans les cas où

$$\varphi_2 = 60^\circ = \frac{2\pi}{6} \text{ et } \varphi_3 = 120^\circ = \frac{2\pi}{3},$$

les expressions (11) donnent

$$\operatorname{tang}\psi_1 = \frac{-r\sqrt{3} + \frac{2\pi i}{T}.2}{r.2 - \frac{2\pi i}{T}\sqrt{3}}$$

$$\operatorname{tang}\psi_2 = \frac{2\pi i}{Tr}$$

$$\operatorname{tang}\psi_3 = \frac{-r\sqrt{3} + \frac{2\pi i}{T}.2}{r.2 - \frac{2\pi i}{T}\sqrt{2}}$$

et les intensités de courants deviennent

$$i_1 = \frac{\sqrt{7}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \psi_1\right)$$

$$i_2 = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2 - \psi_2\right)$$

$$i_3 = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_3 - \psi_3\right).$$

Pour la détermination des maxima, indépendamment de toutes valeurs données à φ_2 et φ_3, nous avons, en égalant à zéro les dérivées des intensités par rapport au temps,

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3 - 2\cos\varphi_2 - 2\cos\varphi_3 + \cos(\varphi_2 - \varphi_3)}}{\sqrt{r_2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \psi_1\right)\frac{2\pi}{T} = 0$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3 - 2\cos(\varphi_3 - \varphi_2) - 2\cos(2\pi - \varphi_3) + \cos\varphi_3}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi_2 - \psi_2\right)\frac{2\pi}{T} = 0$$

$$\frac{di_3}{dt} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3 - 2\cos(\varphi_2 - \varphi_3) - 2\cos(2\pi - \varphi_3) + \cos\varphi_2}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi i}{T}\right)^2}} \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_3 - \psi_3\right)\frac{2\pi}{T} = 0$$

Ces équations sont satisfaites pour

$$\frac{2\pi t}{T} - \psi_1 = \frac{\pi}{2},\ 3\frac{\pi}{2},\ 5\frac{\pi}{2}\ldots$$

$$\frac{2\pi t}{T} + \varphi_2 - \psi_2 = \frac{\pi}{2},\ 3\frac{\pi}{2},\ 5\frac{\pi}{2}\ldots$$

$$\frac{2\pi t}{T} + \varphi_3 - \psi_3 = \frac{\pi}{2},\ 3\frac{\pi}{2},\ 5\frac{\pi}{2}\ldots$$

c'est-à-dire que les *maxima des intensités* $\left(\text{qui correspondent à } \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots\right)$ *ainsi que les minima algébriques* $\left(\text{qui correspondent à } \frac{3\pi}{2}, 7\frac{\pi}{2}, \ldots\right)$ *se produisent aux milieux des intervalles aux limites desquels les intensités devien-*

nent nulles, quelles que soient les valeurs des différences de phases φ_2 et φ_3.

La discussion des formules obtenues ne présente aucune difficulté ; nous laisserons au lecteur le soin de la faire et nous nous bornerons seulement à faire remarquer que, contrairement à l'opinion souvent émise sans preuve, il est possible de transmettre au moyen de trois fils des courants alternatifs dont les différences de phase par rapport à l'un d'eux sont différentes de 60° et 120°.

Frédéric Vogel.

TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE [1]

M. Ader a cherché, dans son nouveau récepteur, à réunir deux qualités qui ne se trouvent presque jamais ensemble ; je veux parler de la rapidité et de la sensibilité. Prenons comme exemple les galvanomètres les plus sensibles qui existent, c'est-à-dire ceux qui obéissent à l'action du plus petit courant possible (ce sont, je crois, certains types des miroirs de Lord Kelvin). On pourra remarquer qu'ils ne sont pas rapides ; c'est-à-dire que, si le courant minimum n'a pas une certaine durée, ils ne se mettront pas en marche. Le même inconvénient existe, *a fortiori*, dans les recorders, aussi perfectionnés qu'on les suppose, par ce fait seul, que le courant a à mouvoir la masse inerte du siphon, en plus de la masse active de l'écheveau de fil. M. Ader a réduit l'inertie au minimum pour l'organe moteur, la bobine; et il a supprimé l'organe passif, le siphon, arrivant ainsi aux plus extrêmes limites de la légèreté. Son appareil est ainsi disposé :

Un grand aimant lamellaire, horizontal, a ses pôles N S très rapprochés (l'entrefer n'est guère que d'un 1/2 milimètre) ; et le champ magnétique ainsi obtenu peut être considéré comme presque fermé ; les lignes de force y sont aussi concentrées que possible.

Dans ce champ est tendu verticalement un fil de cuivre ou d'aluminium A B, (fig. 1 et 2) extrêmement fin, qui constitue l'organe récepteur. Lorsqu'il est parcouru par les courants venant des câbles, il est chassé hors de la ligne des pôles, en avant ou en arrière, suivant que le courant est + ou — (point ou trait de l'alphabet sous-marin). On recueille les déviations au milieu du fil, où elles ont le plus d'amplitude.

Pour cela, les pièces polaires sont entaillées d'un canal horizontal, traversé en son milieu M par le fil mobile. Contre le fil se trouve une plaquette percée d'une fente horizontale : devant le fil est une lampe à pétrole U, et derrière le diaphragme se déroule un papier photographique. Le fil, en se déplaçant, promènera horizontalement son ombre sur le papier, qui se déroule verticalement, et la combinaison de ces deux mouvements permet d'obtenir les mêmes signaux que ceux que trace la pointe du siphon-recorder. La bande se fixe automatiquement dans de petits tubes T annexés à l'appareil, et sort en D, prête à être lue de suite, les signaux formant une ligne blanche sur le fond noir du papier. On en voit en figure 3 un spécimen, obtenu sur le câble Marseille-Alger, de 1880, à la vitesse de 70 mots, soit 350 lettres par minute (transmission ordinaire, 150 lettres).

Comme le fil serait beaucoup trop fin pour tracer lui-même une ombre sur le papier, il a fallu le grossir, dans la partie située au niveau du diaphragme. On emploie à cet effet un petit cylindre, extrêmement léger, en moelle de plume, d'un 1/2 millimètre de diamètre environ; c'est lui qui trace l'ombre. Le seul réglage que l'on ait à faire, une fois pour toutes du reste, est celui de la tension du fil; elle variera d'un câble à l'autre, sui-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 24 juillet, p. 193.

vant l'intensité du courant recueilli; on agira ainsi sur l'amplitude des élongations. Pour permettre ce réglage, le fil, fixé à demeure par le bas, est commandé en haut par un petit dynamomètre très sensible, composé d'un fil de soie FG (fig. 2) horizontal tendu par un poids, et au milieu duquel est attaché le fil de cuivre.

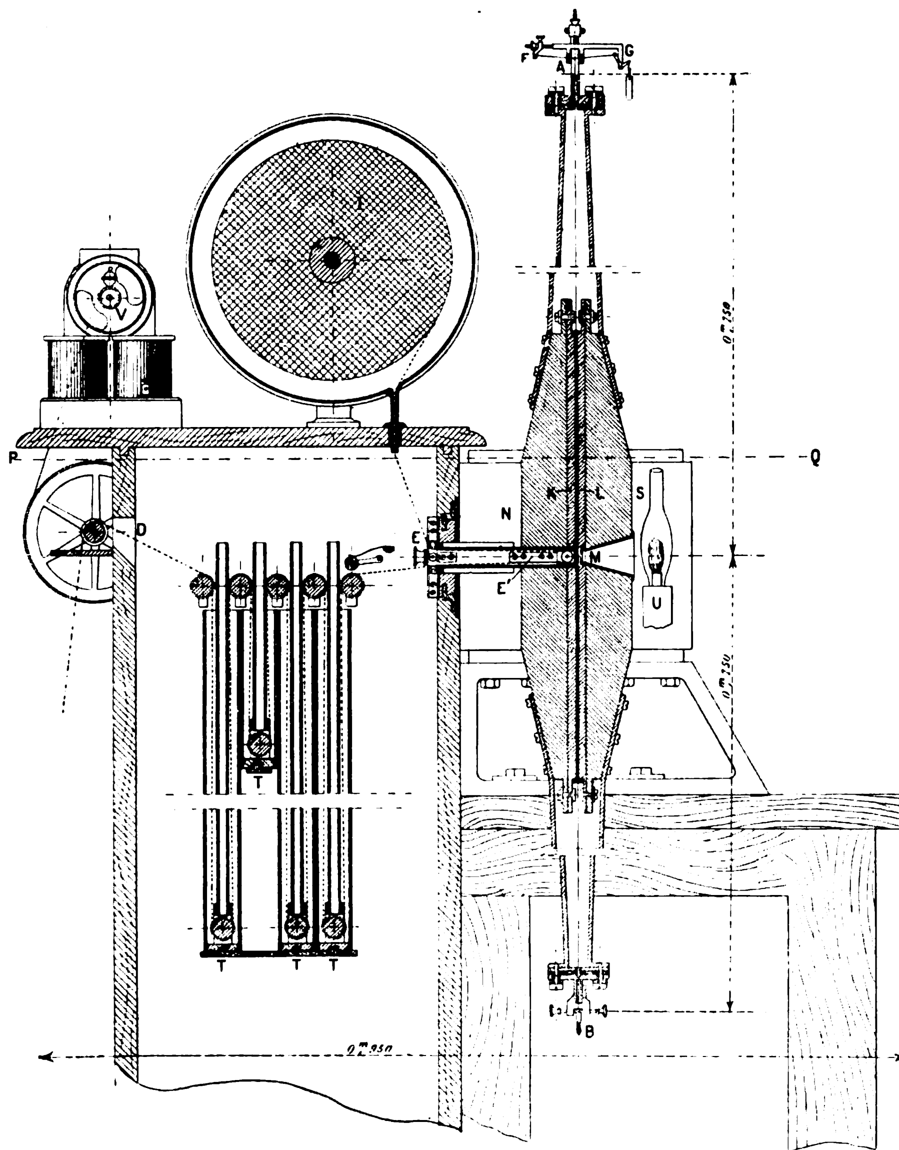


Fig. 1. — Coupe verticale du récepteur Ader pour télégraphie sous-marine.

On règle la longueur du fil horizontal et la valeur des poids suivant la tension demandée, qui peut varier de 5 cgr à 1 gr. (Cette dernière valeur n'est du reste atteinte que dans le cas de câbles très courts, pour lesquels il faut brider fortement le récepteur; elle donnerait une tension de 4,500 kg environ pour un fil ayant 1 mm de diamètre.

L'ensemble du fil est enfermé dans un tube en cuivre, qui se dilate par conséquent en même temps que lui, de sorte que les variations de température n'ont aucune action sur la tension.

Les pièces polaires sont amovibles en K, L,

pour permettre la visite du fil et le nettoyage de la fente du diaphragme, au cas où un grain de poussière s'y introduirait : chose

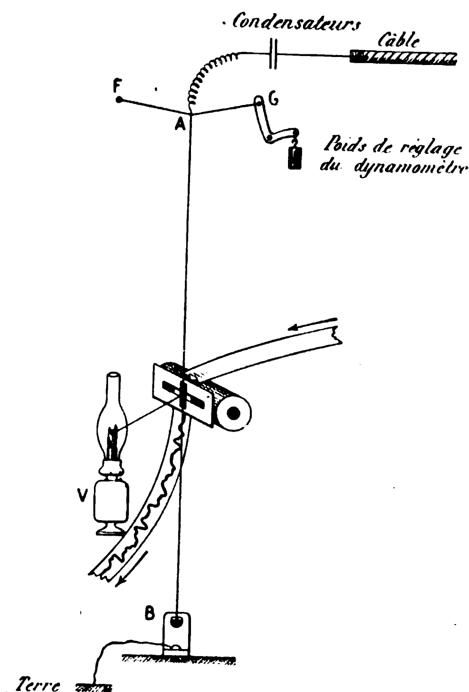


Fig. 2. — Schéma des divers organes du récepteur Ader.

presque impossible, l'appareil étant complètement clos.

Le provision de papier se trouve dans un châssis circulaire I, où on peut loger des rouleaux de 500 mètres environ. Le papier va directement dans la chambre noire et se rend par un tube horizontal E E′ derrière le diaphragme où il s'impressionne, puis il passe dans les tubes de fixage et sort de la chambre noire. (Sur le dessin le trajet du papier est figuré par la ligne ponctuée en gros trait noir.)

La sensibilité de cet appareil est considérable : on obtient de bonnes déviations, et instantanées, en soufflant sur la membrane d'un petit téléphone magnétique, dont les bornes sont reliées directement aux deux extrémités du fil. On n'obtient aucune déviation au siphon-recorder, dans ces conditions. Pour en obtenir une avec un miroir très sensible, il faut s'y reprendre à plusieurs fois, en recommençant à chaque oscillation fondamentale du miroir. On obtient encore de fort beaux signaux à toute vitesse avec un élément Callaud, à travers une résistance de 3 mégohms.

Quant à la rapidité, elle n'a d'autre limite que la période de vibration du fil. On inscrit parfaitement 100 ou 120 signaux par seconde, avec des courants de l'ordre de ceux qui arrivent aux récepteurs de câble, et qui se mesurent par fractions de milliampères.

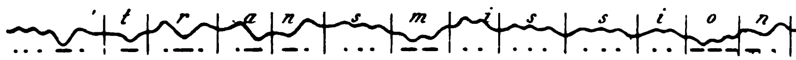


Fig. 3. — Signaux obtenus avec le récepteur Ader sur le câble Marseille-Alger.

Disons, en passant, que pour mieux inscrire nettement les signaux à de pareilles vitesses, il faut empêcher toute vibration naturelle du fil. On y arrive fort simplement en mettant une dérivation d'environ 800 ou 1 000 ohms entre les deux extrémités du fil. On forme ainsi un circuit fermé, dans lequel circulent les courants induits créés par le déplacement du fil dans le champ magnétique, qui s'opposent alors aux mouvements du circuit (loi de Lenz), et empêchent toute vibration. Les courants du câble passent presque en totalité par le fil lui-même, dont a résistance ne dépasse jamais 40 ohms. Il est du reste évident que plus les signaux seront rapides, plus les courants produits par le déplacement du fil auront de voltage, et plus on pourra augmenter la résistance de la dérivation, qui n'aura alors aucune influence sur les courants à recueillir.

On a vu précédemment les résultats obtenus (sur des câbles de grande longueur, gain de 60 à 70 p. 100; sur les câbles d'Algérie, gain de 200 à 230 p. 100). Il est évident qu'un tel appareil ne produira tout son effet utile, que s'il est actionné par une transmission déchargeant le câble dans les meilleures conditions possibles. Je ferai prochainement

connaître les recherches qui ont conduit M. Ader à une méthode de transmission toute nouvelle, ayant pour résultat de décharger presque totalement le câble après chaque signal; et ceci à tel point que le câble, au lieu d'être toujours plein, est en quelque sorte constamment vidé, et, par conséquent, préparé bien plus vite que par les autres systèmes à la transmission de nouveaux signaux. La détermination des diverses conditions électriques de la transmission s'opère à l'aide de graphiques fort simples, et peut ainsi être faite pour chaque câble en particulier.

(*A suivre.*)

F. Rossel,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES [1]

LIGNE AÉRIENNE

Dans les applications de l'électricité à la traction des trains de chemins de fer à grande vitesse, qui se sont multipliées en Amérique durant ces dernières années, le conducteur de contact sur lequel frotte le trôlet doit transmettre des courants très intenses, ce qui force à lui donner des dimensions considérables; sa suspension devient alors un problème d'autant plus difficile qu'aux vitesses adoptées la roue du trôlet tend à quitter le fil au moindre obstacle. On a cherché à tourner la difficulté en donnant au conducteur des formes particulières, plus favorables que la forme circulaire.

Nous avons déjà signalé le conducteur employé sur la ligne de Nantasket Beach [2]; M. H.-R. Keithley, connu par l'invention de son joint électrique pour rails, désigné sous le nom de « Chicago rail bond », vient de faire étirer par la Washburn et Moen C° un conducteur du même genre, dont les figures 23 à 25 représentent la section. Celle-ci est formée par trois fils circulaires de même diamètre, disposés aux sommets d'un triangle équilatéral et réunis au centre; elle est donc parfaitement symétrique, ce qui permet de rouler facilement le conducteur pour le transport; il est suspendu par la branche supérieure, ce qui laisse complètement libre, pour le contact, les deux branches inférieures; en employant la roue à double gorge que représente la figure 24, et qui s'adapte exactement

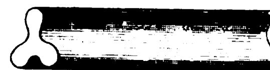
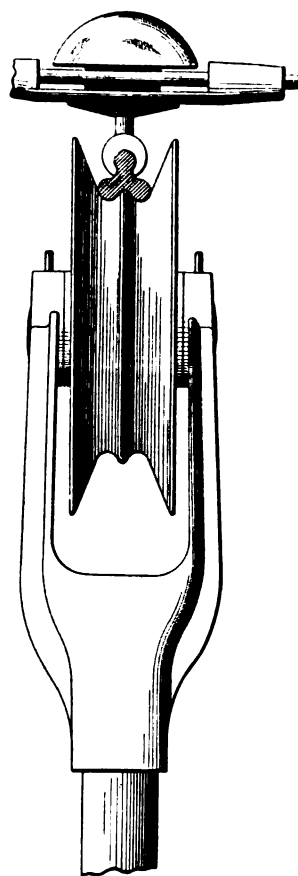


Fig. 23. — Conducteur à trôlet en Y de Keithley.



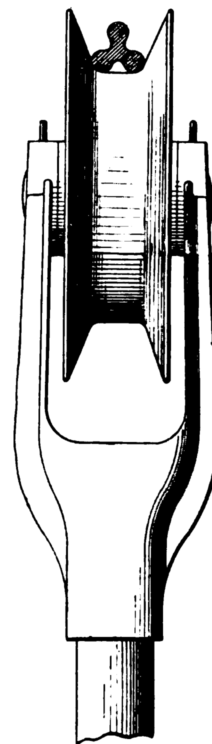


Fig. 24 et 25. — Roues de trôlet pour le conducteur Keithley.

à la forme du fil, la longueur du contact, entre la roue et le conducteur est de 2,5 cm,

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 juillet, p. 241.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 397, 31 août 1895.

c'est-à-dire le double de celle que donne le fil en forme de huit, employé à Nantasket Beach, ce qui est très important, étant données les intensités considérables des courants transmis. En outre, l'usure se fait très également, ce qui évite la formation des arcs, et, la pression se faisant des deux côtés et non au centre, le fil ne tend pas à basculer sous la pression de la roue du trôlet.

On peut aussi employer une roue à gorge plane ordinaire (fig. 25).

M. Nisbeth forme ses câbles avec des fils dont la section est un secteur de cercle (fig. 26, 27 et 28); ces fils tordus ensemble donnent un

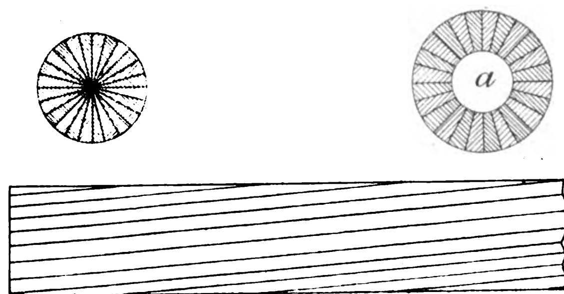


Fig. 26, 27 et 28. — Câbles Nisbeth.

câble suffisamment flexible pour être aisément manœuvré; son usure n'entraîne pas, comme celle des câbles formés par la réunion de fils de petit diamètre, la destruction complète du câble; enfin, ces câbles peuvent facilement être faits creux (fig. 27, *a*), afin d'offrir une plus grande surface de contact à section de cuivre égale.

Le contact pour pont tournant, de W.-B. Potter (General Electric C°), se compose (fig. 29 et 30) d'une pièce métallique 2 de forme triangulaire, à laquelle on fixe le fil à trôlet en 7 par une vis 9 et qu'on peut fixer aux supports isolants en 5,5; elle porte à son extrémité opposée un frotteur circulaire 10, pivoté en 11, et que des ressorts 14 poussent vers l'extérieur. On fixe un de ces contacts à chacune des extrémités 17 du fil à trôlet (fig. 31) extérieurement au pont et à chacune des extrémités du fil tendu sur la partie mobile du pont. Les conducteurs 17 sont en communication constante par un câble isolé 19 passant sous la rivière; de cette façon, lorsque le pont est ouvert, la continuité du circuit

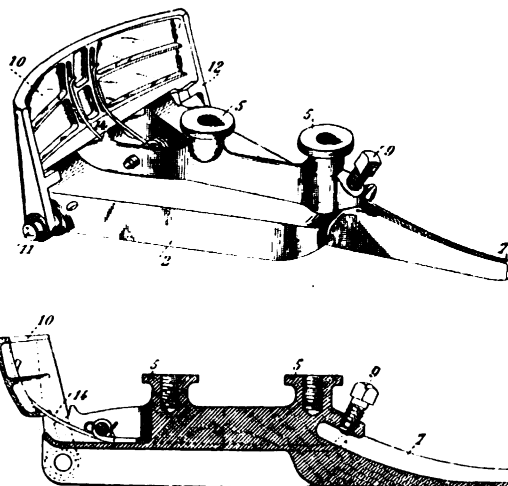


Fig. 29 et 30. — Contact pour ponts tournants de Potter. Vue d'ensemble et coupe.

est assurée par le câble 19; lorsque le tablier du pont revient en place, le contact entre 17 et 1 s'établit automatiquement par l'intermédiaire des frotteurs 10: leur forme arron-

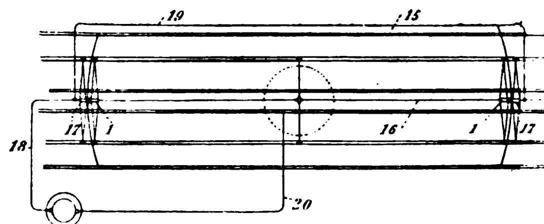


Fig. 31. — Schéma des circuits au passage d'un pont tournant.

die et leur élasticité assurent un contact très parfait.

Dans plusieurs villes, les règlements administratifs exigent l'emploi de fils de garde, conducteurs nus reliés à la terre et qui sont placés à une certaine hauteur au-dessus des fils à trolet. Si un conducteur télégraphique ou téléphonique se brise, il vient, au contact du fil de garde; s'il touche aussi au fil à trôlet, il se produit donc une terre. Les coupe-circuits sont ouverts à la station cen

trale; ils ne sont fermés à nouveau que lorsque la terre est supprimée. On évite ainsi tout danger d'accident aux personnes qui viendraient à toucher le fil télégraphique brisé. En pratique, cependant, il arrive souvent que le fil télégraphique est fondu au contact du fil de garde et, restant accroché au fil à trôlet, pend jusqu'à une faible distance du sol. La terre n'existant plus, les génératrices sont mises en marche. Quiconque viendrait au contact du fil télégraphique pendant dans la rue pourrait recevoir un choc dangereux.

Pour éviter cette cause d'accidents, M. R. Ulbricht a proposé le dispositif suivant, qui a été essayé avec succès en Allemagne, notamment à Zwickau.

Les haubans *k k* des fils de garde G G (fig. 32) sont reliés à la terre par l'intermé-

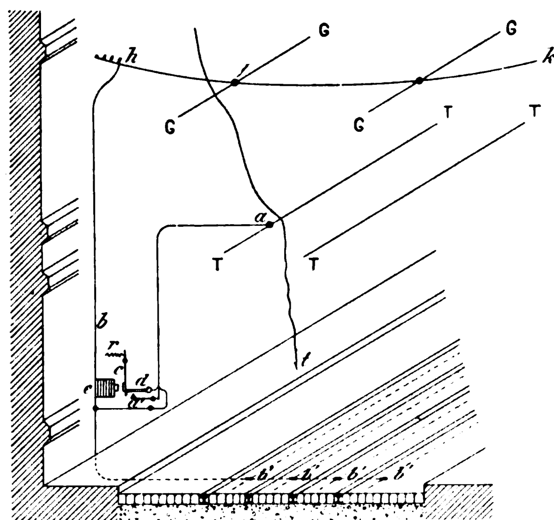


Fig. 32. — Mise à la terre de sûreté de Ulbricht. Disposition générale.

diaire d'un conducteur *bb'*, qui est soudé aux rails en *b'b'b'b'*; sur le trajet de ce conducteur, est disposé un électro-aimant *e* dont l'armature *c* est maintenue éloignée par un ressort *r* (fig. 33). Cette armature maintient par un crochet un bras *d*, qui est mis à la terre. Lorsqu'un conducteur *t t* vient à tomber accidentellement sur G G et T T, le courant qui passe à la terre anime l'électro *e* qui, attirant son armature, fait tomber le bras *d* sur le contact *a'*, qui est relié par le conducteur *a' a* au fil à trôlet T. La mise à la terre de ce dernier devient donc permanente. Elle n'est supprimée que lorsqu'un inspecteur est venu remettre le bras *d* en

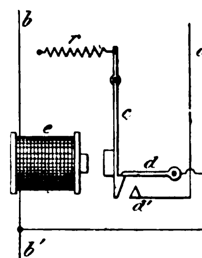


Fig. 33. — Détail du commutateur Ulbricht.

place, ce qu'il ne doit faire qu'après avoir ôté le fil *t t*. Bien entendu, le courant n'est à nouveau lancé sur les lignes qu'après que la mise à la terre est supprimée. On évite ainsi tout danger d'accident aux personnes.

Le coupe-circuit automatique de Rowand

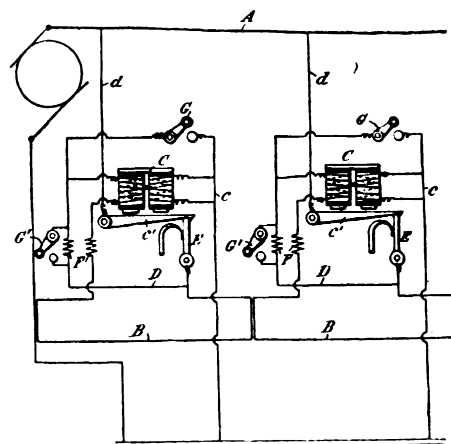


Fig. 34. — Coupe-circuit automatique de Rowand. Schéma des communications.

a pour but d'éviter les accidents qui pourraient se produire si, le conducteur aérien d'un tramway électrique venant à se rompre, il continuait à être en relation avec la source d'électricité lorsqu'il viendrait au contact du sol.

Le fil à trôlet est divisé en sections B (fig. 34), qui sont alimentées à une de leurs

extrémités par un conducteur *d* sur lequel se trouve placé l'interrupteur E, dont le déclanchement est commandé par l'électro-aimant C; cet électro-aimant est muni de deux enroulements distincts agissant en sens contraire. L'un d'eux est mis en communication avec la ligne B, à l'extrémité opposée au point d'alimentation ; l'autre est parcouru par un courant dérivé sur le conducteur *d* immé-

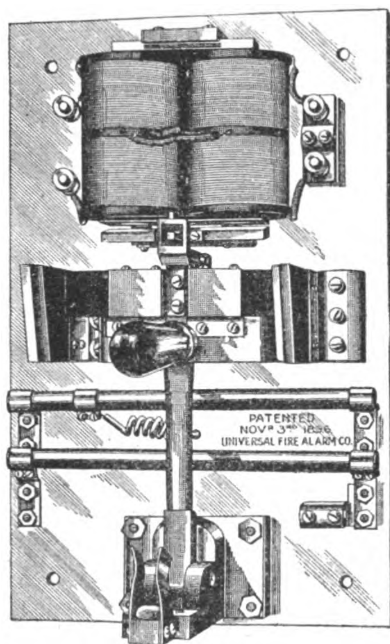


Fig. 35. — Vue d'ensemble du commutateur Rowand.

diatement après l'interrupteur ; le retour commun à ces deux enroulements se fait par un conducteur *c* et les rails. Des résistances F réduisent l'intensité des courants qui parcourent l'électro, afin que la dépense d'énergie électrique soit très réduite. Tant que les deux circuits B et D sont en bon état, l'électro-aimant ne peut attirer son armature; mais si le conducteur B vient à se rompre en un quelconque de ses points, l'enroulement correspondant C n'est plus alimenté; l'autre provoque alors l'attraction de l'armature; le levier E se déclenche et interrompt le courant.

On peut, avec cet appareil, isoler une section pour des réparations, des essais, ou en cas d'incendie dans les rues traversées; il suffit, pour cela, de fermer l'un des commutateurs G ou G′, ce qui fait prédominer l'un des enroulements et provoque la chute du levier E.

CONDUITES SOUTERRAINES.

La conduite T.-E. Doyle et J. Mac Kenny (fig. 36) ne présente rien de particulier; elle est

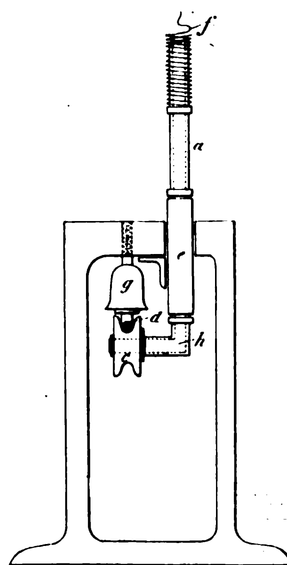


Fig. 36. — Canalisation Doyle et Mac Kenny.

du type de la conduite de Buda-Pesth ou à caniveau latéral, l'ornière du rail servant au

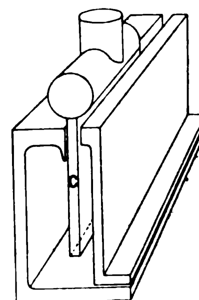


Fig. 37. — Épuisement des eaux, Doyle et Mac Kenny.

passage de la tige du trôlet. Les poussières et débris ayant pénétré dans le caniveau seraient balayés régulièrement par des brosses portées par les voitures et accumulés dans des fosses d'où ils seraient facilement retirés par des regards placés de distance en dis-

tance; l'eau, en cas d'inondation de la conduite, serait retirée par une pompe pénétrant par la fente du caniveau (fig. 37), la pompe elle-même étant actionnée soit par l'essieu de la voiture, soit par un petit moteur électrique spécial.

Le caniveau de la Munson Electric Conduit C°, dont un modèle réduit est actuellement exposé à Chicago, appartient à la catégorie des conducteurs sectionnés à connexion mécanique. Les feeders sont contenus dans le caniveau fermé H (fig. 38) placé sous les rails; le conducteur de service qui est aussi logé en H est relié à des pinces métalliques F placées à intervalles réguliers dans le caniveau supérieur G également fermé.

Le bras de trôlet, qui passe par la fente d'un troisième caniveau placé dans l'axe de la voie, est terminé par un fuseau L (fig. 39 et 40) qui a une longueur un peu supérieure à l'écartement de deux pinces consécutives

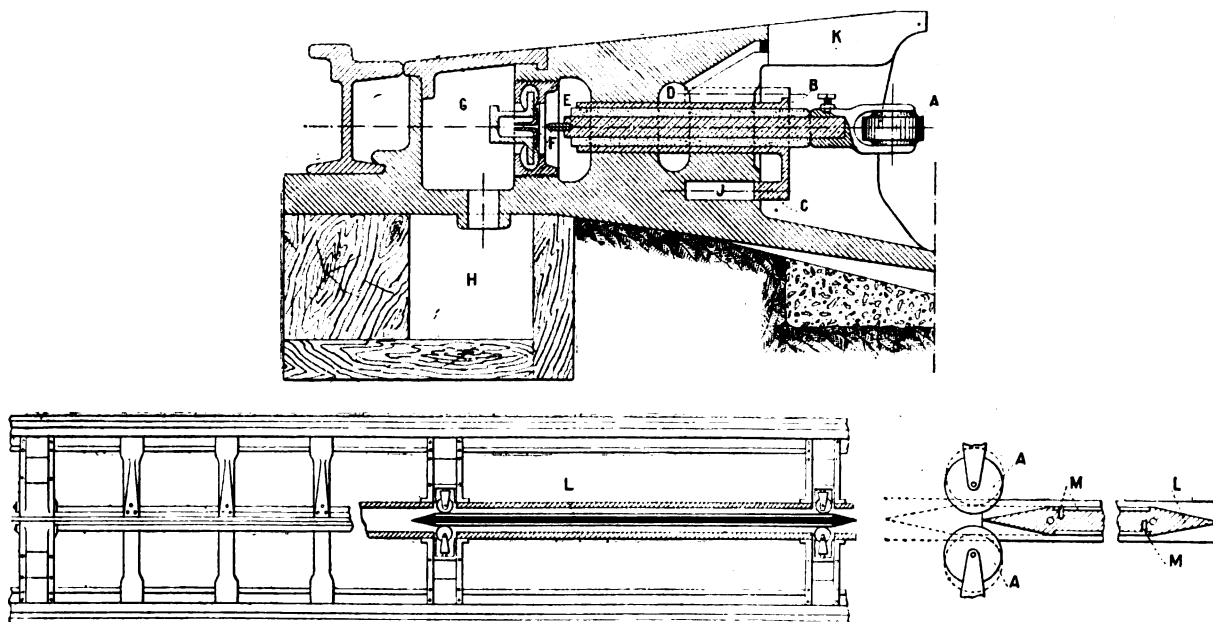


Fig. 38, 39 et 40. — Conduite Munson.

F, F. En face de chacune de ces pinces se trouve un conducteur E, nu à ses extrémités et isolé dans sa partie médiane. Il est solidaire d'un manchon métallique B qui est muni de 3 bras C, que des ressorts J tendent à pousser vers le milieu du caniveau central. Le conducteur E est terminé à l'intérieur de ce caniveau par une roulette A et à l'autre extrémité par une partie conique qui peut s'engager dans les pinces F.

Lorsque le trôlet passe devant un de ces commutateurs, le fuseau L écarte les roues A A et pousse, par conséquent, le conducteur E entre les pinces F. Le courant passe dès lors par E, A, L, aux moteurs. Lorsque la voiture a dépassé le commutateur et que le fuseau L a quitté les roues A, les ressorts J poussent le conducteur E vers l'axe du caniveau et suppriment la connexion.

Le système A. Rosenholz et H.-E. Poehlman rentre aussi dans la classe des tramways à conducteur sectionné.

Chacun des conducteurs C (fig. 41 et 42) est séparé de son voisin en D; il est supporté en G sur un commutateur spécial monté sur les fermes du caniveau, comme le représentent les figures 41, 42 et 43.

Lorsque le trôlet passe sur une section donnée, il abaisse le conducteur et fait ainsi

basculer le commutateur H, pivoté en 5 vers son milieu, ce qui établit le contact entre le conducteur de service C et le câble distributeur A contenu dans un tube B où il est isolé. Lorsque la pression du trôlet a cessé, le commutateur bascule en sens contraire sous l'action du contrepoids *c* et la communication est interrompue. Pour obtenir une alimentation continue des moteurs, on peut employer deux trôlets.

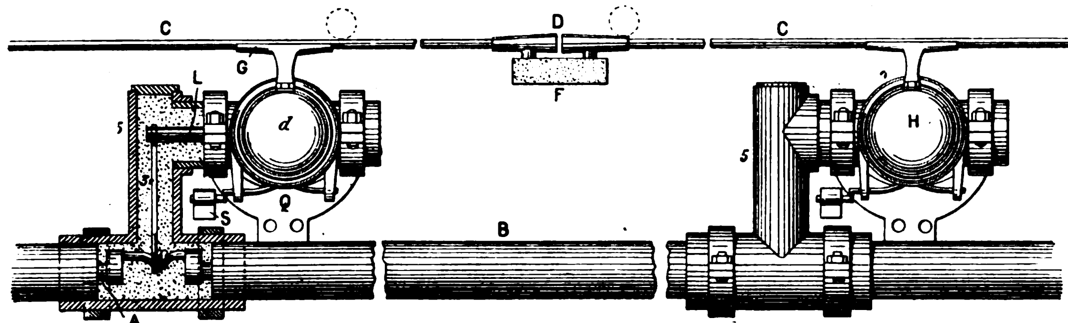


Fig. 41. — Conduite Rosenholz et Poehlman. Coupe longitudinale.

Voici comment est construit le commutateur.

Une dérivation 3 est prise sur le conducteur principal A (fig. 41); elle s'élève dans le tube vertical 5; à son extrémité supérieure, elle vient s'engager dans une tige métallique horizontale L_1 (fig. 41 et 44) passant à l'intérieur du coude formé par le tube 5 et autour duquel est pivoté le corps principal H du commutateur. Une tige en fer L est fixée sur la tige L_1 à laquelle elle est perpendiculaire; elle passe dans l'axe du commutateur H; elle se recourbe vers le haut à son extrémité libre (fig. 44) qui est placée en dessous de contacts O reliés au support métallique GG′ du fil à trôlet. En outre, un conducteur isolé M, enroulé autour de la tige L, vient prendre une dérivation de courant en O. Lorsque le commutateur s'abaisse, la tige L_1 qui est dans l'axe de rotation reste immobile; il en est de même de la tige L qui y est fixée. Le contact s'établit donc entre O et L; comme le conducteur M est parcouru par le courant

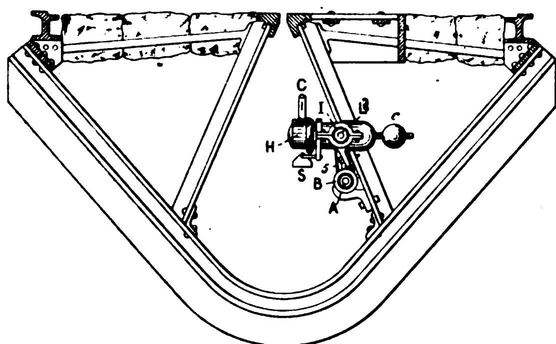
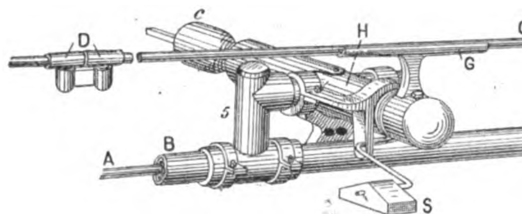


Fig. 42. — Conduite Rosenholtz et Poehlman. Coupe transversale.



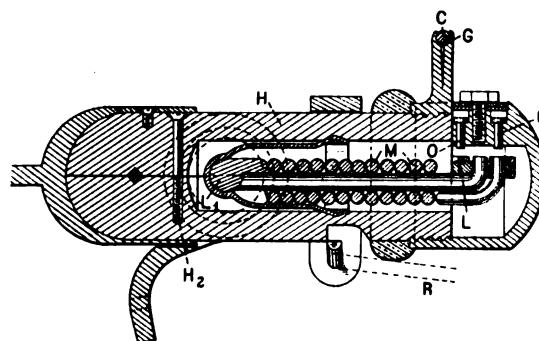


Fig. 43 et 44. — Détail du commutateur.

électrique, la tige L s'aimante fortement et assure un bon contact. Lorsque le trôlet ne presse plus sur le fil, le courant cesse de passer dans cette section; la rupture du contact qui suivra ne pourra donc causer d'étincelle.

Un flotteur S empêche le commutateur de fonctionner lorsque la conduite est inondée.

Dans le système A.-S. Krotz, W.-P. Allen, et O.-S. Kelly, le caniveau est formé par des

fermes a (fig. 45 et 46), munies de semelles a_1 et, à leur partie supérieure, de rebords intérieurs a_2, qui sont consolidés par des nervures ou contre-forts a_3. Ces fermes reposent sur les traverses de la voie ou sur le sol bétonné ; elles sont disposées à des distances convenables et réunies par un caniveau en matière quelconque. Le caniveau est fermé par des plaques métalliques dont la longueur est égale à l'espacement de deux fermes consécutives, sur lesquelles elles sont simplement posées; elles s'emboîtent exactement sur les côtés de a_2 par leurs rebords b_0 et b_1; elles peuvent ainsi être facilement mises en place

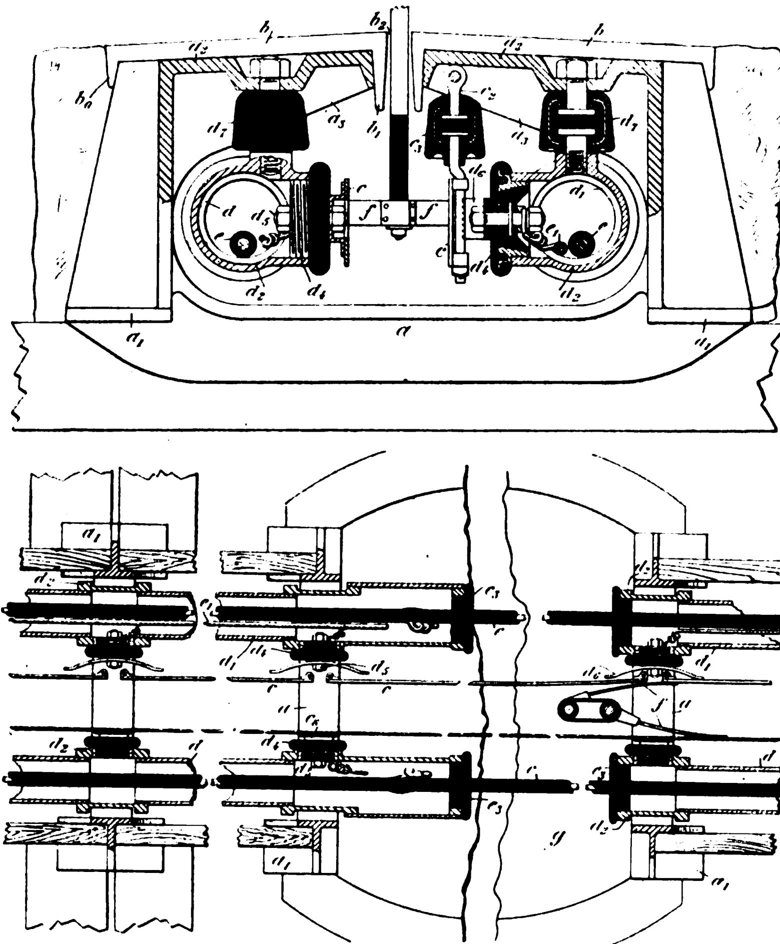


Fig. 45 et 46. — Caniveau Krotz, Allen, Kelly. Coupe transversale et vue en plan.

et retirées, tout en étant maintenues avec une solidité suffisante; une ouverture b_2 est laissée entre les deux couvercles b, pour le passage du bras de trôlet.

Dans le caniveau ainsi formé sont suspendus par des supports isolants d_7, dont la figure représente clairement la construction, des tubes d_1, à l'intérieur desquels sont disposés et le feeder e et le câble distributeur e_1, tant pour l'aller que pour le retour; la connexion entre e et e_1 est faite au moyen de commutateurs placés dans des boîtes en fonte, qui sont placées à l'intérieur de regards ménagés de distance en distance. Ces tuyaux d_1 sont disposés par sections séparées de faible longueur et fermées à leurs deux extrémités par des bouchons isolants e_3; le feeder e traverse toutes les sections sans solution de continuité, mais le distributeur e_1 est spécial à chaque section. En outre, dans chaque section, le tube d_1 est par-

tagé en un certain nombre de bouts qui sont réunis par des tubes en T comme le représentent les figures; chacune des branches dérivées ainsi formées est fermée par un bouchon isolant d_4 qui est traversé par un boulon métallique d_5 auquel est fixée une dérivation prise sur le câble distributeur e_1.

Les barres conductrices C sur lesquelles frotte le trôlet ff, peuvent être disposées de deux façons différentes : elles peuvent, comme le représentent à gauche la figure 46 et en bas la figure 45, être fixées directement sur le bouchon isolant d_4, ou bien, comme le représente l'autre partie des deux mêmes figures, être suspendues à des isolateurs c_3, pivotés à leur partie supérieure c_2; dans ce dernier cas, elles sont divisées en sections de faible longueur et, en temps normal, ne sont pas en contact avec les conducteurs électriques; lorsque le trôlet f vient les presser, elles viennent en contact avec les têtes des boulons d_5 et avec les ressorts d_6, ce qui assure le passage du courant.

Ces dispositions ont pour but d'assurer un isolement aussi parfait que possible des conducteurs électriques, chacun d'eux étant isolé par au moins deux isolateurs, et les câbles se trouvant à l'intérieur de tubes hermétiquement clos; elles assurent, en outre, un montage et un démontage rapides.

(*A suivre.*)

G. Pellissier.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Sur l'influence de la forme de la courbe de la tension aux bornes sur les pertes par hystérésis dans un transformateur;

Par Lionel Fleischmann [1].

L'auteur se propose d'appliquer la méthode qu'il a donnée récemment [2] pour le calcul de la valeur efficace d'une courbe périodique quelconque au calcul des pertes par l'hystérésis dans un transformateur dont la tension aux bornes suit une loi périodique quelconque.

La relation dont il s'agit est la suivante :

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e^2 dt} = \sqrt{2\,\frac{e_1}{T}\int_0^T e\,dt} \qquad (1)$$

où e est la tension instantanée et e_1 l'ordonnée du centre de gravité de l'aire comprise entre la courbe pour une demi-période et l'axe des temps.

Si l'on désigne pour Φ_0 le flux maximum qui traverse le transformateur et par n, le nombre de spires primaires on a :

$$\int_0^T e\,dt = n\Phi_0. \qquad (2)$$

La relation (1) peut donc s'écrire :

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e^2 dt} = \sqrt{\frac{2}{T}\,e_1 n\Phi_0}. \qquad (3)$$

Les pertes par hystérésis dépendent de Φ_0, si donc nous désignons par e et e' les tensions instantanées de deux courbes de tensions différentes mais de valeurs efficaces égales et par Φ_0 et Φ_0' les flux maxima, comme on doit avoir :

$$e_1\Phi_0 = e'_1\Phi'_0$$

ou :

$$\frac{e_1}{e'_1} = \frac{\Phi'_0}{\Phi_0}, \qquad (4)$$

on voit que d'après la loi de Steinmetz les pertes par hystérésis dans un transformateur sont proportionnelles à la puissance 1,6 des ordonnées des centres de gravité des surfaces

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, du 20 mai 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 113; 10 avril 1897.

***

comprises entre une demi-période de la courbe périodique et l'axe des temps.

Comme application de cette loi, l'auteur prend les mêmes exemples que M. Gisbert Kapp dans son Traité sur les transformateurs [1].

Comparons d'abord le cas d'une tension sinusoïdale à celui d'une différence de potentiel ayant la forme triangulaire ; si l'on désigne par E la tension maxima dans la sinusoïde et par x celle dans le second cas, c'est-à-dire la hauteur du triangle, la formule (1) appliquée au triangle donné, puisque les tensions efficaces doivent être les mêmes, donne :

$$\frac{E}{\sqrt{2}} = \sqrt{2 \frac{x}{3} \frac{x}{2}}. \quad (5)$$

On en tire pour x la valeur :

$$x = E\sqrt{1{,}5} = 1{,}22\ E.$$

Le centre de gravité de l'aire de la sinusoïde a une ordonnée égale à $\frac{\pi}{8}$ E, celui du triangle est $\frac{1{,}22\ E}{3}$ et le rapport des deux est $\frac{0{,}392}{0{,}046} = 0{,}96$. Les pertes par hystérésis dans le cas du triangle et dans celui de la sinusoïde sont donc $0{,}96^{1,6} = 0{,}937$ de celles dans le cas de la sinusoïde.

Passons au cas d'une courbe périodique rectangulaire de hauteur x, la formule (1) donne :

$$\frac{E}{\sqrt{2}} = \sqrt{2 \frac{x}{2} x} \quad (6)$$

d'où :

$$x = \frac{E}{\sqrt{2}}.$$

L'ordonnée du centre de gravité de la surface rectangulaire étant $\frac{E}{2\sqrt{2}}$ le rapport des flux dans le cas du rectangle et de la sinusoïde est $\frac{\pi}{8} : \frac{1}{2\sqrt{2}} = 1{,}1$ et celui des pertes par hystérésis de $1{,}11^{1,6}$ ou 1,182.

J. R.

[1] Transformateurs à courants alternatifs, page 22 (traduction française), Baudry, éditeur, Paris.

Chemin de fer à rail central de Nantasket Beach ;

Par H.-K. Landis [1].

Cette installation que nous avons déjà décrite sommairement [2], comprend 5,6 km environ de voie double ; elle a été inaugurée dans le printemps de 1896 et a servi de modèle à deux autres voies qui ont été mises en service au mois de mai dernier ; l'une de ces dernières s'étend de Berlin à New-Britain et l'autre de Hartford à New-Britain. Elles sont établies parallèlement à des voies de tramways électriques ; tandis qu'avec ceux-ci le trajet, long de 14,5 km environ, dure cinquante minutes et coûte 75 centimes, avec le chemin de fer électrique, il ne durera que vingt minutes et ne coûtera que 50 centimes. La longueur totale des deux lignes réunies est de 19,8 km ; c'est la voie de chemin de fer la plus longue qui ait été encore équipée électriquement. Nous reviendrons bientôt sur sa description.

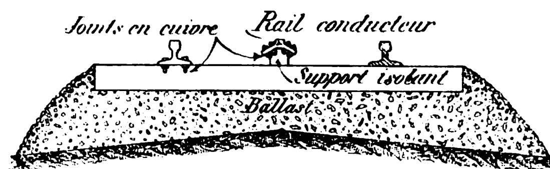


Fig. 1. — Coupe transversale de la voie.

La figure 1 représente le mode de construction de la voie. Le rail central (fig. 2) a

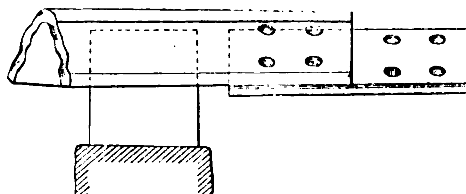


Fig. 2. — Rail central.

la forme d'un triangle à sommet aplati ; il est placé dans l'axe de chaque voie et pèse 46,5 kg : m ; sa section est de 48 cm² ; chaque bout de rail a 9,15 m de longueur et est

[1] *Electrical Engineer* (N. Y.), 9 juin 1897, p. 611.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 77, 10 octobre 1896.

porté par 3 blocs en bois de frêne fixés sur les traverses; ces blocs ont été bouillis, dans le vide, dans une composition goudronneuse qui remplit tous les pores et sert à la fois d'isolant et de préservateur; ces supports isolants sont connus sous le nom de blocs Bergtha.

Les rails de roulement (fig. 3) ont 15,25 cm

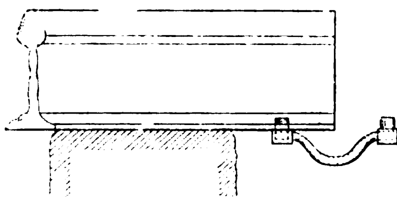


Fig. 3. — Rail de roulement.

de hauteur et pèsent 50 kg : m; ils sont en acier à forte teneur en carbone; le sommet du rail central est élevé de 17,8 cm au-dessus des traverses.

Le rail central est relié à l'usine par deux câbles; il en est de même des rails de roulement qui servent au retour du courant; ces derniers ne sont pas isolés et ont une conductibilité égale à celle du rail central. Aux passages à niveau le rail central est supprimé les deux sections sont réunies par deux câbles qui ont chacun de 250 à 430 mm² de section et sont soudés à des plaques de cuivre de 142 cm² de surface qui sont elles-mêmes boulonnées au rail de contact, sous chacune de ses faces inclinées; ces câbles sont nus, ils sont placés dans des gouttières fermées, en pin créosoté, de 10 cm de côté à l'extérieur, de 6,25 cm à l'intérieur, et qui sont remplies d'une composition isolante formée avec un mélange d'asphalte et de résidus de la distillation du pétrole. Le tout est enfermé dans une conduite en pin créosoté de 19 × 30 cm, placé à 60 cm sous la voie.

Chaque voiture motrice porte deux sabots de contact et chaque voiture de remorque en porte un, tous ces sabots, qui ont une surface de contact de 30 × 12,7 cm, sont réunis entre eux par des câbles souples; on obtient ainsi d'excellents résultats.

Les joints électriques du rail central sont formés par des plaques de cuivre de 15,5 × 30,5 cm et de 1,6 mm d'épaisseur, boulonnées entre les faces inclinées du rail et des éclisses en fer de 10 × 30,5 cm et 6,3 mm d'épaisseur, comme l'indique la figure 2; il y a deux de ces plaques par joint; leur section totale est de 500 mm² environ.

Les joints du circuit de retour qui ont été adoptés après différents essais sont representés par la figure 3. Ils consistent en 21 bandes de cuivre d'une épaisseur totale de 1,25 cm et d'une largeur de 2,22 cm; leurs extrémités sont placées dans un moule et des masselottes en cuivre mélangé de soudure sont fondues autour d'elles; chacune de ces masselottes est fendue d'un trait de scie et est introduite dans un trou de 2,5 cm de diamètre pratiqué dans la semelle du rail; on force ensuite un coin en métal blanc dans la fente du joint; on obtient ainsi un excellent contact.

Cette installation est en service depuis plus d'un an; bien que plusieurs ouvriers aient touché accidentellement le conducteur central, il n'en est jamais résulté d'accident grave. L'isolement est très satisfaisant; pendant une inondation, la ligne fut partiellement submergée sur près de 3 km de longueur sans que le service en dût être arrêté. Un essai fait après un orage et lorsque l'isolement d'un câble était percé accidentellement par un clou, indiqua une perte de courant de 2,5 ampères (à la tension de 600 volts, soit 1,5 kilowatt); un autre essai, fait dans des conditions plus favorables par un temps sec, en été, ne révéla qu'une perte de 0,5 ampère. Ce sont des résultats très satisfaisants.

G. P.

Note sur la translation à double courant;

Par J.-B. Pomey (¹).

L'emploi de distributeurs translateurs inverseurs pour les installations Baudot fait souvent considérer comme difficile ou impos-

(¹) *Ann. Télég.*, t. XXIII, 3ᵉ série, p. 92, janv.-fév. 1897.

sible la translation par relais, dans les cas où il est fait usage d'un courant de repos. Je pense donc qu'il n'est pas inutile d'indiquer ici schématiquement les communications d'une installation de translation pour le cas indiqué, qui est aussi, d'ailleurs, celui où l'on voudrait relier par une translation deux lignes bifurquées pour postes municipaux. Ce

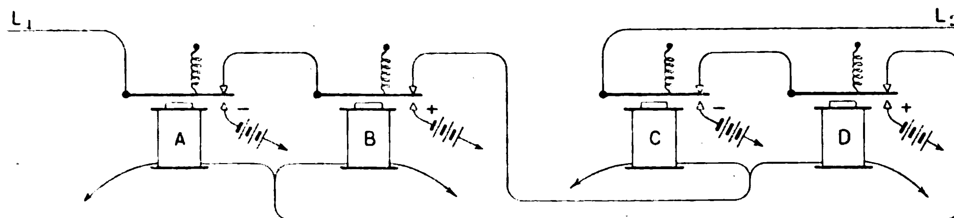


Fig. 1. — Schéma des communications d'une installation de translation à double courant.

croquis fort simple ne nous paraît pas très connu, sans doute parce que le besoin de l'appliquer ne s'est pas fait sentir. La marche du courant se comprend d'elle-même, nous n'insisterons donc pas. Disons seulement que A et C sont des électro-aimants polarisés dont l'armature ne se déplace que sous l'action d'un courant négatif et que B et D sont deux autres relais polarisés sensibles au courant positif.

Progrès récents de télégraphie;

Par le Dr A. Tobler [1].

Le vaste hôtel de la rue de Grenelle-Saint-Germain, qu'occupait naguère le Ministère de l'Intérieur, est encore une des merveilles de Paris; on est sûr d'y trouver, à chaque visite renouvelée, des installations qui constituent un réel progrès de la science électrique. En fait d'appareils ce sont aujourd'hui les Baudot, les Hughes et les Morse qui dominent; l'immense batterie d'éléments Callaud placée dans les souterrains a cédé sa place à un nombre très limité d'accumulateurs Tudor qui se charge de la totalité du service et dont l'installation a formé le sujet d'une communication des plus intéressantes de la part de M. Belugou (*Annales télégraphiques*, 1893, p. 303). Nous allons offrir à nos lecteurs la description de quelques dispositifs assez récents qui, à notre avis, présentent un intérêt particulier.

1. *Installation diplex, système Dejongh.* — Ce système dont l'idée remonte assez loin permet d'établir, en simultané sur le même circuit, deux communications indépendantes, desservies par l'appareil Hughes, et une communication téléphonique. Il a été installé en 1895 sur l'un des circuits téléphoniques Paris-Bruxelles et a fait l'objet d'un article très intéressant de M. Toussaint, publié dans les *Annales télégraphiques* de 1895 (Numéro de juillet-août, t. XXII, p. 354); nous ferons remarquer cependant que l'installation actuelle que donne notre fig. 1 montre certains perfectionnements introduits depuis.

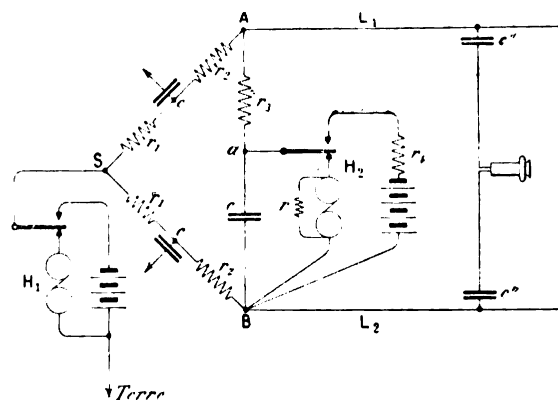


Fig. 1. — Installation diplex, système Dejongh.

Dans chaque poste extrême les deux lignes L_1 et L_2 du circuit aboutissent à un pont de Wheatstone formé par des bobines gradua-

[1] *Journal de télégraphie*, t. XXI, p. 121, 25 juin 1897.

trices Van Rysselberghe et arrangé de la façon suivante. En partant du sommet S du pont le courant émis par le Hughes extrême H_1 se bifurque en deux parties égales; de chaque côté se trouve d'abord une bobine de 500 ohms et 8 henrys environ (r_1), ensuite une seconde bobine ayant les mêmes valeurs, à laquelle vient s'ajouter une résistance ordinaire de 1000 ohms, donc sur la figure $r_2 = 500 + 1000$ ohms. A la jonction de r_1 et de r_2 est attaché un condensateur de 2 microforads. On voit que cet arrangement correspond absolument au système van Rysselberghe appliqué au duplex Hughes (voir entre autres : Piérard, *Manuel de télégraphie et de téléphonie*, Bruxelles, 1895, p. 350), avec cette différence toutefois qu'au point B se rattachait la ligne factice allant à la terre au lieu de la ligne L_2 constituant l'autre branche du circuit métallique. Dans la diagonale du pont, entre A et B, est placé un second appareil Hughes H_2 muni également de deux bobines graduatrices r_3 et r_4; entre *a* et B est intercalé un condensateur *c* de 2 microfarads. Ceux de nos lecteurs qui sont familiarisés avec le système van Rysselberghe savent que le but des bobines à self-induction est de « graduer » les émissions télégraphiques et que les condensateurs doivent empêcher l'interruption totale lorsque le transmetteur se trouve au milieu des butoirs de repos et de travail. Ajoutons que chaque Hughes est muni également d'une bobine graduatrice intercalée entre le support de l'armature et la borne « ligne », de sorte que l'armature étant soulevée, ce nouveau circuit possède également une certaine self-induction [1]. Les Hughes sont à déclanchement mécanique Terral et Mandroux qui est toujours en usage en France; dans presque tous les autres pays on l'a abandonné depuis longtemps pour différentes raisons; on prétend entre autres que la manipulation sur les Hughes munis de ce dispositif est très fatigante et que la tige de déclanchement a de fréquentes ruptures.

(1) Ces bobines ne sont pas visibles dans la figure 1.

On voit d'après la fig. 1 que, les branches du pont et les lignes L_1 L_2 étant égales, les points A et B seront sur le *même potentiel;* en effet, le courant partant de H_1, de la station I, va à S, se partage en L_1 et L_2, va à l'autre station II, traverse les branches du pont, se rend par le Hughes H_1' à la terre et retourne à I. Il en suit que le circuit L_1, A, H_2, B, L_2 est complètement indépendant, comme nous l'avions démontré dans notre étude sur le système Cailho (*Journal télégraphique* 1896, p. 282). Or les circuits

$$H_1 < {}^{L_1}_{L_2} > H'_1 \text{ et } H_2, A, L_1, A', H'_2, B', L_2\, B$$

(les lettres munies d'un ′ se rapportent à la station II) étant parfaitement « gradués », on voit que l'on peut intercaler en I et en II un poste *téléphonique* séparé par des condensateurs c'' c'' des lignes L_1 et L_2 sans que des « fritures » se fassent entendre; nous n'avons pas eu l'occasion de nous en convaincre personnellement, mais on nous affirmé que les téléphones restaient absolument silencieux. D'après M. Toussaint (*l. c.*) les Hughes H_1 et H'_1 fonctionnent dans des conditions pratiques aussi normales que sur un fil ordinaire; ceux H_2 et H'_2 intercalés dans les diagonales des ponts ont même une marge de réglage plus grande que les extrêmes H_1 H'_1. Pour éviter l'effet du courant de retour à la diagonale quand on transmet par celle-ci, on a mis un rhéostat de 8000 ohms environ en dérivation (*r* fig. 1) sur l'électro H_2. En temps ordinaire Paris transmet toujours par H_1 et reçoit par H_2, ce qui rend le réglage des appareils plus simple. Il va sans dire qu'une partie du courant transmis et reçu par H_2 se perd dans le circuit A S B, mais comme les branches du pont ont une assez forte self-induction, cette perte sera insignifiante. Nous ferons remarquer que dans le temps certains auteurs (notamment M. Weidenbach, dans son ouvrage d'ailleurs très remarquable sur la télégraphie, Wiesbaden 1877) se sont efforcés d'appliquer les lois d'Ohm et de Kirchhoff à des circuits pourvus de forte self-

induction et parcourus par des courants de très courte durée comme ceux de Hughes, sans réfléchir que les conditions du régime variable ne sont pas du tout les mêmes que pour le régime stable, d'où il suit que les résultats obtenus en pratique différaient souvent beaucoup de ceux trouvés par le calcul.

Dans les premiers essais de M. Cailho (*Annales télégraphiques*, vol. XVI, p. 317, 1889), nous trouvons le même dispositif des branches du pont; ce n'est que plus tard que M. Cailho a substitué aux deux bobines graduatrices une seule dont les deux circuits étaient reliés de façon à obtenir un champ magnétique nul pour les courants *télégraphiques* transmis et reçus, ce qui n'est pas le cas pour l'arrangement de la figure 1. Il resterait à déterminer par l'expérience si une bobine Cailho convenablement disposée ne permettrait pas d'augmenter le rendement du diplex Dejongh.

2. *Installation de relais Baudot permettant de contrôler la transmission des postes extrêmes.* — On sait qu'aujourd'hui la translation pour l'appareil Hughes se fait exclusivement au moyen de relais; on a complètement aban-

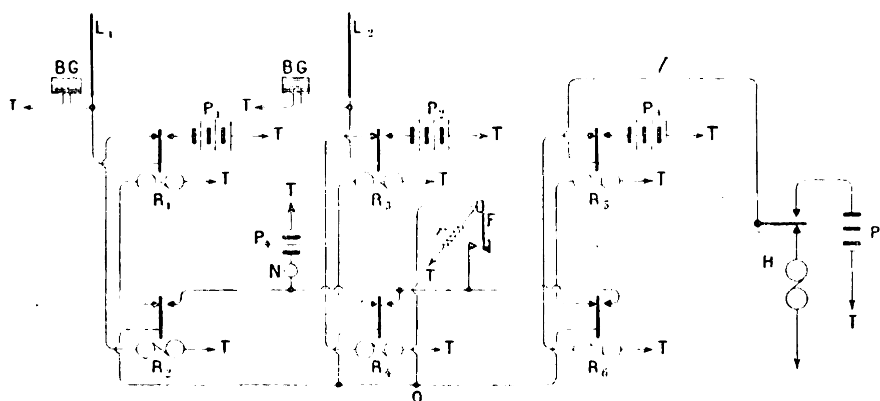


Fig. 2. — Installation de relais Baudot permettant de contrôler la transmission des postes extrêmes.

donné les dispositifs qui devaient permettre d'utiliser le Hughes lui-même comme translateur et dont certains traités de télégraphie donnent l'historique (Tobler et Zetzsche. *Betrieb u. Schaltungen d. elektr. Telegraphen* p. 107, Halle, 1891; Sack. *Der Drucktelegraph Hughes*, Vienne 1884; Sack. *Die Uebertragunsvorrichtungen am Typentelegraphen von Hughes*, Berlin, 1880; Schellen-Kareis, *Der elektromagnet. Telegraph*, sixième édition 1888). L'administration allemande se sert d'un relais spécial « Hughes-Relais » muni d'un système de contre-courant; en France, aux Pays-Bas et ailleurs on donne la préférence au dispositif inventé dans le temps par M. d'Arlincourt et complètement remanié depuis par MM. Willot et Rambaud (voir Tobler et Zetzsche l. c.; Thomas. *Traité de télégraphie*, p. 377, Paris, 1894; Wünschendorff. *Télégraphie sous-marine*, p. 501, Paris, 1888). Depuis 1892, nous trouvons au poste central de Paris un arrangement très ingénieux et efficace qui permet d'établir une translation pour la ligne de Londres à Rome et de contrôler la transmission des postes extrêmes. C'est dans ce cas le relais Baudot qui sert de translateur; cet appareil, dont on trouve la description dans les traités cités plus haut, se distingue par la rapidité de ses mouvements, due à sa résistance modérée, son peu d'inertie et sa très faible self-induction. Bien qu'il soit construit pour travailler à double courant, il peut être réglé facilement pour marcher avec un seul sens du courant et, le réglage une fois opéré, il y a, d'après ce que nous disait M. Danjean, le surveillant des translateurs, rarement lieu d'y toucher.

Suivons maintenant le sens d'un courant

venant de Londres (fig. 2). Ligne L_1, armature du relais R_1, butoir de repos, électro du R_2, terre. L'armature de R_2 se meut vers la droite et le courant de la pile locale P_4 part du pôle à travers le parleur N, armature de R_2 et se bifurque au point O, une partie passe par l'armature et le butoir de repos de R_4 dans l'électro de R_3 à la terre, une autre partie par l'armature de R_6 et l'électro de R_5 également à la terre. L'armature de R_3 ferme le courant de la pile de ligne P_2 qui passe dans la ligne L_2 (Rome), l'armature de R_5 ferme le circuit de P_3 à travers l'électro du Hughes de contrôle H, lequel par suite enregistre la transmission.

Si c'est Rome qui transmet, ce sont les relais R_4 et R_4 qui entrent en jeu et la transmission est également reproduite par R_5 et le Hughes de contrôle. Le réglage de ce dernier, quant au synchronisme, est une opération assez délicate qui demande beaucoup d'habitude; on voit, d'après la figure, que ce Hughes en transmettant envoie le courant de la pile P_5 dans le relais R_6 qui, à son tour, ferme les relais R_1 et R_3 et provoque ainsi l'envoi *simultané* des courants des piles P_1 et P_2 dans les lignes L_1 et L_2. Le Hughes de contrôle se trouvant dans la grande salle d'appareils et les translateurs dans une autre pièce, on a trouvé avantageux de munir la tablette des relais d'une clef F qui permet d'actionner à la main les relais R_1, R_3, R_5; cette disposition est surtout utile lorsque les postes extrêmes Londres et Rome ont placé la ligne sur Morse. On sait qu'en France et en Allemagne chaque Hughes est accompagné d'un Morse complet qui peut lui être substitué par un simple mouvement de commutateur, lorsqu'il y a un dérangement quelconque qui empêche les Hughes de bien fonctionner. Pour éviter l'étincelle de l'extracourant de rupture, l'axe de la clef F est mis à la terre à travers une résistance r de 500 ohms.

Afin de contrebattre les effets de la charge et décharge statiques des lignes L_1 et L_2, on les a munies de bobines compensatrices BG du système Godfroy; on trouvera leur description détaillée dans un article du *Journal télégraphique*, 1890, p. 246. Lorsque le dispositif que nous venons de décrire fonctionne sur des lignes en bronze, deux translateurs suffisent entre Londres et Rome, un à Paris, l'autre à Turin; si l'on est obligé de se servir de lignes en fer, il faut augmenter le nombre des postes translateurs.

Notons encore un perfectionnement dans l'installation des relais servant à établir la translation entre Londres et Marseille sur la ligne de l'Eastern Telegraph Company, desservie par l'appareil Wheatstone. C'est le système du « Post Office », dont la conception est due à M. C. F. Varley et qui a subi depuis un certain nombre d'années des perfectionnements très importants, grâce aux travaux de M. W. H. Preece et de ses électriciens. Les appareils ont été montés en 1890 au poste central de Paris; on nous a montré alors cet arrangement admirablement combiné, fraîchement sorti des ateliers de MM. Elliott frères et qui, à cette époque, servit à des essais entre Londres et Rome, avec relais à Lyon et Turin. Ce n'est que depuis quelques années qu'on l'a mis sur la ligne de l'Eastern C°, depuis l'adoption du Wheatstone par cette Compagnie. Nous ne nous proposons pas de le décrire ici, nos lecteurs trouveront des récits détaillés dans la plupart des traités de télégraphie récents (Tobler et Zetzsche, p. 430 et suiv.; Thomas, p. 587; Preece et Sivewright, 9e édition, p. 172, 1891). Pour obtenir le rendement maximum il faut que les relais (type Post Office) soient réglés afin d'avoir le moins de jeu possible; or, malgré les dispositifs servant à empêcher la production d'étincelles entre les points de contact, il arrive quelquefois que l'armature touche à la fois les butoirs de repos et de travail ce qui interrompt naturellement le service. Dans le but d'avertir immédiatement le surveillant, on a intercalé (fig. 3) entre la pile « de repos » P_1 et le butoir *a* du relais R un indicateur dit à disque (semblable à ceux des postes centraux

téléphoniques), son clapet formant relais ferme le circuit local d'une sonnerie trembleuse S; l'enroulement de l'électro est en gros fil, afin d'introduire une résistance insignifiante dans le circuit de ligne Z, A, *a*, L,

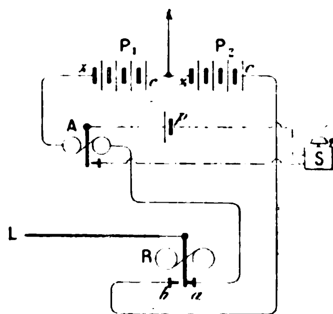


Fig. 3. — Dispositif avertisseur pour relais du système post-office.

aussi en temps normal cette armature reste au repos. Or, l'armature du relais translateur R se trouvant en contact simultané avec *a* et *b*, le courant de P_1 passe de Z à A, R, *a*, *b*, pile P_2. Sous l'action de ce fort courant, A déclenche et, en fermant le circuit de *p*, fait tinter la sonnerie.

Nous ne terminerons pas ce récit sans exprimer notre vive reconnaissance à MM. les fonctionnaires du poste central, où nous avons toujours trouvé une hospitalité des plus empressées. Ce sont notamment M. Augé, le chef du central, et MM. les inspecteurs Mauriva, de Lirac et Damiens, qui nous ont fourni les renseignements les plus détaillés sur toutes les questions qui nous intéressaient.

Économie comparée des lampes à arc découvert et à arc enfermé.

Par Elihu Thomson [1].

L'étude du professeur américain porte sur tous les progrès réalisés dans les applications de l'énergie électrique aux lampes à arc : arcs montés en série sur circuits à intensité constante avec courants continus, redressés, alternatifs ; séries d'arcs montées en dérivation sur des circuits à potentiel constant, avec courants continus ou alternatifs et emploi de compensateurs, de transformateurs à intensité constante ; enfin, arcs isolés montés en dérivation sur circuits à potentiel constant. Elle est en grande partie consacrée à l'étude des lampes à arc en vase clos et la critique de ces lampes semble même être l'objet principal de cette communication ; nous en extrayons les chiffres suivants, qui permettent de comparer les résultats qu'elles fournissent avec ceux des lampes à arc ordinaires.

Auparavant, nous rappellerons les considérations qui ont conduit à l'adoption de l'arc enfermé et au rapide développement de ses applications.

Pour obtenir de bons résultats avec les lampes ordinaires montées sur des circuits à potentiel constant, on doit employer les meilleures qualités de charbons ; le remplacement de ceux-ci est donc une source de dépenses importantes; il entraîne, de plus, une main-d'œuvre onéreuse et désagréable. Avec l'arc en vase clos, leur durée est environ 20 fois plus grande, ce qui permet de réaliser une économie sensible.

Mais M. Marks n'est parvenu à rendre son emploi pratique qu'en adoptant un arc long, produit par une différence de potentiel aux charbons de 70, 80 volts, ou même davantage. Cette tension élevée a donné lieu aux objections suivantes : Quand on monte les lampes en série, on ne peut, avec une tension de distribution donnée, mettre qu'un nombre plus restreint de lampes en service ; on ne peut monter qu'une seule lampe en dérivation sur un circuit à 110 volts et on doit absorber une partie de l'énergie électrique dans un rhéostat pour amener la tension à sa valeur d'utilisation ; enfin, puisque la tension aux bornes est doublée, il semble que la dépense d'énergie par unité de lumière produite doive être aussi doublée [1].

[1] D'après une communication sur « les progrès récents de l'éclairage à arc », faite à la National Electric Light association, réunion de Niagara, juin 1897.

[1] Voir la discussion qui a suivi la lecture du mémoire de M. Marks à la Société internationale des Électriciens. *Bulletin* de février 1897, p. 130.

Les conditions sont loin d'être aussi défavorables.

On sait que pour obtenir un bon réglage des lampes à arc fonctionnant sur distribution à potentiel constant, c'est-à-dire avec une intensité variable, on doit placer en série avec l'arc une résistance fixe ou rhéostat de réglage, qui a deux effets : d'abord, elle donne au courant la stabilité qui lui manquerait sans cela; la résistance de l'arc n'est pas, en effet, une quantité définie, mais elle varie, pour une longueur donnée de l'arc, en raison inverse de l'intensité du courant; elle diminue même souvent plus rapidement que l'intensité n'augmente ; la résistance extérieure constante a pour but d'atténuer l'importance relative des variations de résistance de l'arc sur les variations d'intensité du courant. Ensuite, dans les lampes où l'électro de réglage est placé en dérivation aux bornes de l'arc, elle augmente la sensibilité du réglage.

Il faut donc que cette résistance ait une valeur assez importante, quel que soit le genre d'arc adopté.

Pour se rendre compte de la valeur minima de la chute de potentiel sur cette résistance extérieure, M. E. Thomson a entrepris une série d'expériences dans les conditions suivantes : il montait en série une ou deux lampes à arc et une résistance extérieure; il plaçait le tout en dérivation sur une canalisation à potentiel constant et diminuait ensuite simultanément la tension de distribution et la résistance extérieure, de telle facon que l'intensité du courant conservât la même valeur et que la différence de potentiel aux bornes de l'arc fût aussi constante. Dès que la valeur de la résistance extérieure devenait insuffisante, l'arc et, partant, l'intensité du courant devenaient instables. La valeur minima de la tension de distribution était ainsi facilement déterminée.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

1re série. — Arcs découverts : 2 lampes Thomson (modèle 1893), en série entre elles et avec une résistance extérieure :

Nature des charbons.	Diamètre des charbons en mm.	D. d. P. aux charbons de chacun des arcs.	Intensité dans le circuit.	D. d. P. minima aux bornes du circuit pour une marche régulière.	Chute de potentiel dans la résistance et dans les électros des lampes.
Pleins	12,7	45 volts.	9,6 amp.	110 volts.	20 volts.
marque	»	45 »	7,9 »	108 »	18 »
« National ».	»	46 »	6,0 »	108 »	16 »
Charbon inférieur	»	46 »	15,0 »	106 »	14 »
plein;	»	46 »	12,0 »	104 »	12 »
charbon supérieur	»	46 »	9,4 »	108 »	16 »
à mèche,	»	45 »	7,3 »	104 »	14 »
marque « National ».	»	42 »	6,0 »	98 »	14 »

2e Série. — Lampe à arc enfermé, construite pour un voltage normal de 80 volts et réglée ensuite pour des voltages différents.

Dans un cas comme dans l'autre, la perte dans la résistance extérieure est donc de 15 à 20 volts; elle correspond pourtant à une proportion plus grande du voltage total pour l'arc enfermé que pour l'arc découvert.

D'autre part, en raison des tensions minima dans les deux cas, l'emploi des circuits à 110 volts est moins favorable pour les lampes à arc enfermé que pour les arcs ordinaires; si au contraire, ce qui n'est pas rare, la tension de distribution tombe sensiblement au-dessous de cette valeur, on est forcé, pour obtenir un fonctionnement régulier des arcs découverts, de diminuer la différence de potentiel aux bornes de chaque arc, ce qui di-

minue la proportion d'énergie électrique utilement dépensée.

Il faut remarquer aussi, que la lampe à arc enfermé était construite pour fonctionner sous un voltage normal de 80 volts, tandis que les essais ont été faits à une tension moindre, ce qui est à son désavantage.

En résumé, d'après ce qui précède, on voit que le rapport de l'énergie électrique dépensée dans l'ensemble du circuit à l'énergie utilisée dans les arcs doit être à peu près le même en pratique, avec les deux systèmes.

Il restait à déterminer si l'intensité lumineuse, par kilowatt, était la même dans les deux systèmes.

Voici les chiffres donnés par M. Thomson.

Nature des charbons.	Diamètre des charbons en mm.	D. de P. aux charbons de chacun des arcs.	Intensité dans le circuit.	D. d. P. minima aux bornes du circuit pour une marche régulière.	Chute de potentiel dans la résistance et dans l'électro de la lampe.
Pleins marque « Électra ».	11,11	75 volts.	7 amp.	88 à 90 volts.	13 à 15 volts.
	»	74 »	6 »	92 à 94 »	18 à 20 »
	»	75 à 76 »	5 »	92 à 94 »	17 à 18 »
	»	78 »	4 »	98 à 100 »	20 à 22 »
	9,53	76 »	3,2 »	100 »	24 »

Les essais ont été faits dans les laboratoires d'essais de la General Electric Company, à Lynn, par M. J. Coates, « dans des conditions semblables à celles de la pratique » ; les consommations de courant, d'après les chiffres donnés pour la tension, semblent se rapporter à la dépense de l'arc seul ; pour avoir les consommations réelles, il faudrait donc ajouter la perte dans la résistance de réglage. Ces essais, dont les résultats généraux seuls sont publiés, ont été conduits de la façon suivante : on déterminait, par des séries de mesures très complètes, l'intensité lumineuse dans différentes directions et on représentait les résultats par des courbes pour chaque genre d'arc ou chaque condition du globe entourant l'arc ; on calculait l'intensité lumineuse moyenne sphérique et on évaluait l'intensité lumineuse utile. Les résultats ci-dessous sont des moyennes obtenues par un grand nombre d'expériences :

1° Arcs découverts, sans aucun globe ; courant continu, deux charbons pleins.

Un arc de 48 volts et 10 ampères dépense 1,2 watt par bougie moyenne sphérique et un arc de 48 volts et 7 ampères, 1,4 watt.

Avec un charbon inférieur plein et un charbon supérieur à mèche, la différence de potentiel peut être abaissée à 42 ou 44 volts au lieu de 48, ce qui conduit à un meilleur rendement.

L'emploi d'un globe en verre ordinaire donne lieu à une perte d'environ 10 à 12 p. 100 ; un globe opalin absorbe de 45 à 65 p. 100 suivant l'épaisseur et la composition du verre ;

2° Arc enfermé, avec un globe intérieur en verre ordinaire et aucun globe extérieur ; charbons de 12,7 mm de diamètre.

Après une durée de service de 102 heures, un arc de 4,75 ampères dépense par bougie moyenne sphérique 1,94 watt.

Avec des globes intérieurs opalins, la consommation spécifique est, au début, de 2 watts environ et augmente beaucoup vers la fin de la combustion.

Si l'on passe ensuite à l'intensité lumineuse utile, il faut distinguer entre les lampes à courant continu et les lampes à courant alternatif :

1° Arc à courant continu. — Si l'on considère comme utiles tous les rayons dirigés vers le bas, un arc découvert dépense en moyenne, sans globe, environ 0,5 watt par bougie et un arc enfermé de 1 à 1,5 watt ;

2° Arc à courant alternatif. — La lumière

est projetée dans toutes les directions; l'emploi d'un réflecteur permet d'améliorer ces conditions. Une lampe à arc découvert, sans aucun globe, de 16 ampères et 25 volts, dépense :

Par bougie moyenne sphérique, sans réflecteur	1,49 watt.
Par bougie moyenne utile (en dessous de l'horizon) sans réflecteur.	1,12 »
Par bougie moyenne utile (en dessous de l'horizon) avec réflecteur.	0,8 à 0,9 »

Une lampe à arc enfermé dépense environ 2 watts par bougie moyenne sphérique au début et plus vers la fin, par suite du noircissement ou encrassement du globe intérieur; on ne peut, avec ces lampes, employer utilement de réflecteur, en sorte que la dépense par bougie utile est d'environ 2 watts.

« C'est, dit en terminant M. Elihu Thomson, un rendement à peine meilleur que celui des lampes à incandescence. »

Le savant professeur américain est évidemment l'avocat de l'arc ordinaire; nous insérerons avec plaisir la réponse de la partie adverse. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur l'explication d'un résultat expérimental attribué à une deviation magnétique des rayons X;

Par Sir G.-G. Stokes [1].

« Les *Comptes rendus* du 5 juillet 1897 contiennent (p. 17) une note où M. G. de Metz [2] décrit une expérience dont le résultat, suivant lui, ne peut être expliqué que par l'une ou l'autre de ces deux hypothèses : ou dans un vide extrême les rayons X sont capables de déviation magnétique, ou les rayons cathodiques peuvent traverser la paroi en verre d'un tube de Crookes. Je ne crois pas qu'aucun des termes de cette alternative contienne l'explication exacte, et je demande à l'Académie la permission de lui soumettre ce que j'estime être la théorie vraie du phénomène.

» Tout tend à prouver que les rayons X sont une agitation de l'éther, et l'on peut regarder aujourd'hui comme pratiquement établi que cette agitation est transversale. Si ces rayons sont une agitation de l'éther, supposer qu'ils sont capables de déviation magnétique prête le flanc à de très grandes difficultés théoriques; je ne sache pas d'ailleurs qu'une telle déviation ait été expérimentalement démontrée dans aucun cas. Quant aux soi-disant rayons cathodiques, il me paraît absolument évident que ce ne sont pas du tout de vrais rayons, mais bien des courants de molécules chargées d'électricité, projetés par la cathode. Il y aurait sans doute une grande difficulté dans cette manière de voir si nous étions obligés de supposer ces molécules capables de passer à travers la paroi en verre d'un tube de Crookes, d'autant plus que, Crookes lui-même l'a montré il y a déjà longtemps [1]. les rayons cathodiques sont arrêtés par une mince pellicule de verre, de quartz ou de mica. Mais il n'est nullement nécessaire d'avoir recours à cette supposition pour expliquer les résultats obtenus par M. de Metz. Il me semble évident que les phénomènes qui se présentent dans les hauts degrés de vide sont de la nature de ceux qui ont été étudiés par MM. Spottiswoode et Moulton sous le nom de *relief-effect* [2]. Les deux masses d'air

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 216, séance du 26 juillet 1897.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 183, 17 juillet 1897.

[1] Crookes, *Philosophical Transactions for* 1879, p. 150.

[2] Spottiswoode et Moulton, *Philosophical Transactions for* 1879, p. 177.

extrêmement raréfié, situées respectivement dans le tube de Crookes et dans le tube cylindrique, constituent les deux armatures d'une bouteille de Leyde, dont le diélectrique est formé par la portion de la paroi du tube de Crookes, limitée au contour du tube cylindrique. A chaque décharge de la bobine d'induction, un torrent de molécules électrisées négativement est projeté contre l'anti-cathode ou la première surface du diélectrique, laquelle communique sa charge, ou une bonne partie de sa charge, soit directement à l'anode, soit, en premier lieu, à quelque autre partie de la surface interne du tube de Crookes. Toute charge momentanée de la première surface du diélectrique agit inductivement sur le contenu du tube cylindrique, et produit réciproquement une décharge entre la seconde surface du diélectrique et le cylindre d'aluminium, relié à la terre; et, dans cette phase de décharge réciproque, où la seconde surface agit comme cathode, les molécules sont projetées de cette seconde surface exactement comme de la cathode du tube de Crookes, et elles affectent de même un écran au platinocyanure de baryum.

» Bien que, comme j'en suis pleinement convaincu et comme, j'imagine, le pensent la plupart des physiciens, les rayons cathodiques et les rayons X soient de nature complètement différente, ils sont également capables d'affecter une plaque photographique ou d'exciter la fluorescence d'un écran couvert de platinocyanure de baryum. Cela admis, les résultats obtenus par M. de Metz trouveront une explication très simple. Lorsque l'air à l'intérieur du tube cylindrique était à la pression atmosphérique ou seulement à un degré de vide modéré, la fluorescence observée sur l'écran était due aux rayons X. Car, ainsi que Lenard [1] l'a montré, les rayons cathodiques, à supposer qu'ils existent, seraient promptement arrêtés par l'air et ne pourraient par conséquent atteindre l'écran. En conséquence, les rayons produisant la fluorescence étaient trouvés insensibles à l'aimant. D'autre part, à un vide élevé, les rayons cathodiques, constitués par les molécules que projetait la surface rendue cathode par induction, étaient capables d'atteindre l'écran; et, comme ils étaient à même d'exciter une fluorescence beaucoup plus intense que les rayons X, l'effet observé était principalement dû aux rayons cathodiques; et, par conséquent, les rayons excitants étaient trouvés susceptibles de déviation par l'aimant.

» En présentant cette explication, je tiens à me garder contre la pensée qui pourrait m'être attribuée d'expliquer de la même façon l'apparition de rayons cathodiques venant de la seconde surface d'une plaque d'aluminium dont la première surface reçoit les rayons cathodiques. Dans ce cas, le processus est probablement plus direct et présente, je suis porté à le penser, quelque analogie avec l'électrolyse. »

[1] Lenard, *Wiedmann's Annalen*, t. LI, p. 225; 1894. *La Lumière Électrique*, t. LII, p. 291, 338, 439.

Sur la transformation des rayons X par les métaux;

Par G. Sagnac [1].

« 1. Un pinceau de rayons X défini par deux fentes tombe obliquement sur une lame métallique. A quelques millimètres au-dessus de la région du métal frappée par les rayons est disposée une plaque photographique dont la couche sensible est nue et tournée vers le métal. Ce dispositif permet de reconnaître que l'or, l'argent, le zinc, le cuivre, le plomb, l'étain impressionnent à distance la plaque photographique, quand ils sont frappés par les rayons X. L'aluminium se montre inactif.

» 2. Une expérience comparative faite avec deux miroirs du même acier, l'un rugueux et l'autre optiquement poli, montre que le

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 230, séance du 26 juillet 1897.

degré de poli du métal est sans influence. D'ailleurs, la région impressionnée sur la plaque photographique ne correspond pas à la trace d'un faisceau réfléchi par une surface imparfaitement polie; elle est située précisément au-dessus de la partie du métal qui reçoit les rayons X et qui émet ainsi un *rayonnement* d'intensité maximum suivant le plus court chemin entre le métal frappé et la plaque sensible.

» 3. L'intensité du rayonnement s'affaiblit rapidement, quand l'épaisseur de l'air traversé augmente.

» On le reconnaît en plaçant deux larges lames du même métal à des distances petites et différentes au-dessous de la face sensible d'une plaque et faisant tomber des rayons X sur la face verre de la plaque. L'impression directe des rayons X est renforcée devant les deux lames métalliques, et moins pour la plus éloignée que pour la plus rapprochée. La plupart des métaux, au contact de la couche sensible, donnent un renforcement de l'action photographique comparable à l'action directe des rayons X [1]. L'action est déjà bien affaiblie quand le métal est à 1^{mm} de la face sensible; au delà de 10^{mm} l'action devient insignifiante.

» 4. Une lame de mica ou d'aluminium de $\frac{2}{10}$ de millimètre d'épaisseur arrête déjà presque complètement les rayons des métaux. Une simple feuille de papier noir les affaiblit beaucoup, et inégalement d'un métal à l'autre : ainsi les rayons du cuivre traversent le papier noir mieux que les rayons de l'étain.

» 5. Ces rayons des métaux tombant sur l'aluminium lui donnent la propriété d'impressionner une plaque photographique, tandis que les rayons X ne peuvent pas exciter directement l'aluminium.

» 6. Les propriétés indiquées distinguent suffisamment les rayons actuels des rayons X incidents. On ne peut même pas dire qu'une partie spéciale des rayons X ait été diffusée par le métal. Il s'agit d'une véritable *transformation des rayons X*, d'une sorte de *luminescence du métal*.

» 7. En comparant des feuilles minces d'un même métal sous diverses épaisseurs, on reconnaît que l'émission des nouveaux rayons a son siège dans une couche superficielle de quelques centièmes de millimètres d'épaisseur.

» 8. La différence d'activité de deux métaux varie avec le mode de fonctionnement du tube de Crookes. En particulier, l'action du zinc est favorisée par rapport à celle du plomb, si le tube est amené à donner des rayons X traversant mal les tissus de la main.

» 9. Il y a donc dans le faisceau des rayons X incidents une partie qui excite plus spécialement la luminescence de tel ou tel métal. Par suite, le faisceau transmis par une mince feuille métallique ne possède pas la même composition que le faisceau des rayons X incidents.

» 10. La transparence apparente d'un système de feuilles minces de métaux différents dépend de l'ordre dans lequel on superpose les métaux. On constate, en effet, que le système : (cuivre, étain) paraît plus opaque que le système : (étain, cuivre). Ce résultat est très général; le système : (étain, papier noir) se montre notablement plus opaque que le système : (papier noir, étain). Les épaisseurs employées sont comparables au centième de millimètre.

» *Conclusions.* — I. Les différents métaux exercent sur les rayons X une absorption élective. En même temps, la couche superficielle du métal émet de nouveaux rayons bien plus difficilement transmis que les rayons X par le mica, l'aluminium, le papier noir et l'air lui-même. Ces nouveaux rayons sont transformés eux-mêmes par l'aluminium.

» II. On est conduit naturellement à penser que les nouveaux rayons, absorbés par la couche de gaz adjacente au métal, rendent

[1] Ce renforcement a été signalé dès le début par M. Rœntgen.

ce gaz conducteur de l'électricité au même titre que les rayons X, incidents eux-mêmes. Cette remarque paraît justifiée. Les métaux suivants : *zinc*, *plomb, étain*, *aluminium* se rangent dans l'ordre indiqué, au point de vue de l'intensité de leur luminescence; or, c'est là précisément l'ordre de vitesse de décharge de ces métaux quand les rayons X les frappent directement. L'aluminium n'est pas sensiblement luminescent sous l'influence des rayons X, et l'on sait qu'il ne joue aucun rôle spécial dans le phénomène de la décharge.

» J'ai déjà montré que l'action directe des rayons X sur le gaz [1] paraît liée à la luminescence du gaz. La luminescence du métal frappé par les rayons X permet d'expliquer, d'autre part, le rôle joué par le métal dans la décharge du conducteur électrisé.

» III. A un point de vue plus général, la luminescence des métaux frappés par les rayons X fournit une nouvelle série de radiations. Pour se procurer d'autres radiations, on pourra étudier la luminescence de diverses substances frappées par les rayons X et transformer à leur tour ces radiations en leur faisant exciter de nouvelles luminescences, comme il arrive pour l'aluminium frappé par les rayons d'un autre métal. On pressent ainsi que l'on parviendra à remplir peu à peu l'intervalle inoccupé qui sépare les rayons X des rayons ultra-violets connus et à les identifier peut-être avec de tels rayons [2]. »

Sur le voile photographique en radiographie;

Par P. Villard [3].

« Les épreuves radiographiques présentent souvent un aspect voilé, surtout quand il s'agit d'objets épais : on admet volontiers que ce résultat est produit par des rayons X de nature particulière, capables de traverser presque tous les corps sans absorption notable.

» Sans faire d'hypothèse sur la composition du rayonnement émis par un tube de Crookes en activité, je crois que l'explication précédente est loin d'être exacte; les expériences suivantes paraissent établir que le voile n'est nullement dû à l'action de rayons X ayant traversé les objets à radiographier.

» I. Sur une plaque sensible entourée de papier noir, est placée une large barre de fer plate, de 6 mm d'épaisseur; sur celle-ci, et en croix, est posée une seconde barre de même épaisseur. Sur chacune des barres ont été déposés de petits objets en cuivre ou en argent épais. Au-dessus de tout, à 25 cm environ, est installé un tube de Crookes capable de donner des radiographies d'une grande netteté. Après une pose de trois minutes, le cliché est développé et donne les résultats suivants :

» Sous la barre, au contact du papier noir, pas de trace d'impression; sous la barre placée à 6 mm au-dessus de la plaque, impression grise très marquée; il semble que cette barre se soit montrée transparente aux rayons X; il n'en est rien cependant, car les objets situés sur cette barre n'ont pas donné de silhouettes, et d'ailleurs la première barre, de même épaisseur que la seconde, s'est montrée parfaitement opaque pour la pose adoptée. Si l'on intervertit les barres, le résultat reste le même : il y a toujours un voile sous celle qui n'est pas au contact du papier renfermant la plaque sensible.

» II. Une plaque sensible est enfermée dans du papier noir ou du carton; au-dessus sont disposés les objets suivants :

» 1° Une plaque de cuivre de 1 mm d'épaisseur, placée au contact du papier, et sur laquelle est posée une pièce monnaie en or;

» Une seconde plaque, pareille à la première, mais maintenue à 15 mm au-dessus de la glace sensible; au-dessous, sur le papier, sont deux pièces d'or; sur la plaque de

---

[1] *Comptes rendus* du 19 juillet. — *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 281, 31 juillet 1897.

[2] Travail fait au laboratoire de M. Bouty, à la Sorbonne.

[3] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 232, séance du 26 juillet 1897.

cuivre, directement au-dessus de l'une des pièces, se trouve une pièce de 5 francs, en argent, et, un peu plus loin, une pièce d'or;

» 3° Une plaque de cuivre disposée comme la précédente, mais garnie latéralement de quatre plaques verticales formant avec elle comme le couvercle d'une boîte rectangulaire, et servant d'écrans.

» Sur chaque pièce de monnaie est posé un petit écrou épais, en bronze; cette précaution permettra de s'assurer ultérieurement que les pièces n'ont pas été traversées par les rayons X.

» Le tout est soumis pendant cinq à six minutes à l'action du tube de Crookes employé précédemment, et voici ce que l'on observe :

» 1° La plaque de cuivre au contact du papier a été traversée par les rayons X, la pièce d'or s'est montrée opaque et son image n'est pas voilée ;

» 2° La seconde plaque a été également traversée ; il semble même qu'elle soit beaucoup plus transparente près des bords qu'au centre ; mais, tandis que la pièce d'or placée au-dessous d'elle, sur le papier, donne une image exempte de voile, les pièces placées sur la plaque semblent avoir été franchement traversées par les rayons X; leurs silhouettes sont grises et se distinguent à peine du fond qui les entoure. L'image de la pièce d'or placée directement sous la pièce de 5 francs est bien visible, mais elle est très confuse. Cependant aucune des pièces n'a été réellement traversée, car les objets placés au-dessus n'ont pas donné de silhouettes.

» L'emploi d'un tube peu résistant ne modifie pas sensiblement le phénomène. Les choses se passent encore de même si l'on règle l'interrupteur de manière à affaiblir le rayonnement du tube au point qu'il soit nécessaire de porter à une demi-heure la durée de la pose, ou encore si les rayons X ont préalablement traversé une lame abondante en cuivre mince.

» 3° La troisième plaque a donné au contraire des silhouettes exemptes de voile, et l'on ne peut trouver trace de l'image de la pièce d'or placée sous la pièce de 5 francs.

» Le résultat est identique, même en portant au maximum la résistance du tube de Crookes.

» III. L'expérience précédente a été répétée, avec les deux premières lames seulement, les objets à radiographier étant disposés dans un vase en cuivre mince contenant de l'eau jusqu'au niveau de la lame supérieure : le résultat a été le même que précédemment ; il convient seulement de remarquer que les rayons qui ont produit le voile ont traversé la lame de cuivre formant le fond du vase.

» On peut conclure de ce qui précède que le voile, au moins dans beaucoup de cas, n'est nullement dû à des rayons ayant traversé tous les obstacles, car il se produit sous des objets réellement opaques, et l'addition d'écrans latéraux suffit à le faire disparaître. L'image confuse donnée par une pièce d'or placée à 15 mm au-dessous d'une pièce de 5 francs ne peut provenir de rayons directs, et d'ailleurs elle disparaît aussi par l'addition d'écrans. Cette image n'est pas due non plus au rayonnement fourni par les parois du tube, celui-ci étant amplement masqué par la pièce supérieure et la lame de cuivre. Il semble donc que l'impression parasite observée ait pour cause une sorte de fluorescence de l'air ambiant, ou de l'eau ; et, dans ces conditions, on conçoit que la radiographie d'un thorax, par exemple, présente de sérieuses difficultés.

» Les expériences de M. Rœntgen, dont M. Raveau a communiqué les résultats à la Société francaise de physique, ne laissent subsister aucun doute relativement à la dissémination des rayons X par l'air; la conclusion précédente est d'ailleurs conforme à celle que M. Sagnac, dans une note très récente, déduit de ses recherches sur la propagation de ces mêmes rayons [1]. »

[1] Travail fait au laboratoire de chimie de l'École Normale supérieure.

Action des rayons X sur la température des animaux ;

Par LECERCLE [1]

« Nous avons soumis aux rayons X le train postérieur de plusieurs lapins dont les poils avaient été enlevés, et nous avons déterminé les températures cutanée et rectale : 1° avant l'exposition aux rayons ; 2° immédiatement après ; 3° une demi-heure après.

» Les rayons X étaient fournis par le modèle primitif du tube en forme de poire, excité par une bobine dont le circuit primaire, d'une résistance de 1/4 d'ohm, était traversé par un courant de 52 ampères, fourni par l'usine centrale de Montpellier avec 6 accumulateurs en dérivation.

» Le fond du tube était à 0,10 m de la peau. Une toile métallique en communication avec le sol les séparait.

» Nous rapportons ici les observations faites sur deux lapins :

Femelle de 3^{kg},250.

	Températures rectales.			Températures cutanées.		
	Avant.	Immédiatement après.	Demi-heure après.	Avant.	Immédiatement après.	Demi-heure après.
1re expérience	39	38,8	39	36,9	36,6	37,1
2e expérience	38,9	38,9	39	36,3	36,3	36,6
3e expérience	38,7	38,7	38,9	36,1	35,7	38,8
4e expérience	38,7	38,6	38,8	36,7	36,9	36,9
Moyennes	38,8	38,7	38,9	36,5	36,4	36,8

Lapin de 3^{kg},060.

	Températures rectales.			Températures cutanées.		
	Avant.	Immédiatement après.	Demi-heure après.	Avant.	Immédiatement après.	Demi-heure après.
1re expérience	37,7	37,5	37,9	35,4	35,3	35,4
2e expérience	37,6	37,5	38,1	35,2	35	35,2
3e expérience	37,8	37,8	38,7	35,1	35,4	36,8
4e expérience	37,7	37,4	37,9	35,9	35,2	36,1
Moyennes	37,7	37,5	38,1	35,6	35,2	35,9

» Ainsi l'exposition aux rayons X modifie les températures cutanée et rectale dans le même sens. Sous leur influence, ces deux températures baissent d'abord, pour se relever ensuite au-dessus du degré initial. »

Sur la luminescence ;

Par W. ARNOLD [2].

L'auteur a étudié l'action des rayons cathodiques, des rayons de Rœntgen, des rayons de Becquerel et des rayons-canal de Goldstein, sur un très grand nombre de substances. Il résulte de ces recherches que la luminescence est une propriété très répandue.

1. *Rayons cathodiques.* — Les « solutions solides » qui possèdent cette propriété à un haut degré ne sont pas simplement des mélanges, car un mélange mécanique présente une luminescence de la même couleur que celle du dissolvant ; la solution solide a en général une teinte toute différente.

2. *Photoluminescence.* — La plupart des corps qui deviennent luminescents sous l'action des rayons cathodiques, sont aussi photoluminescents, mais à un degré moindre : en général, les corps qui ne sont pas photoluminescents ne sont pas non plus cathodoluminescents.

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 234, séance du 26 juillet 1897.

[2] *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 318-329, 1897.

3. *Rayons de Rœntgen.* — Les rayons de Rœntgen excitent la luminescence comme les rayons cathodiques; mais cette luminescence n'est pas toujours la même dans les deux cas. En particulier les solutions solides de sulfate de manganèse, qui luisent fortement sous les rayons cathodiques, ne luisent pas sous les rayons de Rœntgen.

Le dimorphisme et le trimorphisme n'entraînent que très peu de différence dans la transparence des corps pour les rayons de Rœntgen : aucun corps n'est dichroïque vis-à-vis de ces rayons.

Les substances luminescentes augmentent l'action des rayons X sur les plaques photographiques : au contraire, les solutions solides qui ne sont pas luminescentes n'exercent aucune action de ce genre.

4. *Rayons de Becquerel.* — Un certain nombre de substances luminescentes émettent des rayons de Becquerel, qui agissent sur les plaques photographiques à travers le papier, le verre, la gélatine : cependant les solutions solides et beaucoup d'autres qui possèdent une très belle luminescence n'émettent pas de ces rayons.

5. *Rayons-canal de Goldstein.* — Les rayons-canal forment la couche rougeâtre de la lumière cathodique, à la partie antérieure de la cathode et on peut les isoler, en perçant la cathode : ces rayons-canal ne sont déviés par l'aimant. Les rayons-canal possèdent aussi la propriété d'exciter la luminescence d'un grand nombre de substances; leur action se distingue principalement de celle des rayons cathodiques en ce que, même après 10 ou 15 minutes, on n'observe aucun affaiblissement de la lumière émise. Par contre les rayons-canal n'agissent pas sur les plaques photographiques : on ne peut donc les confondre avec les rayons de Rœntgen : ils provoquent la décharge des corps électrisés positivement ou négativement. Leur énergie est très considérable, car un thermomètre placé sur leur trajet monte en quelques minutes de plusieurs degrés.

Les rayons de décharge [1] provoquant aussi la luminescence spécialement sur les solutions solides.

M. L.

(1) Hoffmann, *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 326, 8 mai 1897.

VARIÉTÉ

(Histoire chronologique de l'électricité.)

Il y a cinq ans nous avons publié sous ce même titre, d'abord dans *The Electrical World*, de New-York, ensuite dans *La Lumière Électrique* [1], une série d'articles où nous nous étions efforcé de signaler à leur date exacte les principales découvertes de l'électricité et du magnétisme. Depuis cette époque, nous n'avons cessé, en vue de rassembler ces articles en un ouvrage, de compléter nos renseignements primitifs. Aussi avons-nous pensé qu'il ne serait pas inutile de reproduire ces articles, complétés et annotés de nombreux renvois bibliographiques, dans *L'Éclairage Électrique;* toutefois comme ce genre d'articles n'offre guère d'attraits que pour les chercheurs, nous laisserons complètement de côté dans ce qui va suivre la période précédant l'an 1800 et dans la période s'étendant de 1800 à 1820, nous citerons principalement les savants dont les noms ont une autorité incontestée et dont les recherches ont été l'objet de nombreuses additions au texte primitif, renvoyant le lecteur pour les autres aux articles originaux de *La Lumière Électrique*.

En 1800, William Nicholson, éditeur du

(1) *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 58, 174, 620; t. XLIII, p. 221, 518, 613, et t. XLVIII, p. 220, 320 et 422.

journal qui porte son nom, et sir Anthony Carlisle, chirurgien anglais, découvrent, au cours d'une série d'expériences de chimie, qu'à l'aide de la pile voltaïque l'eau est décomposée en ses constituants, oxygène et hydrogène. Ils se servaient à ce moment d'une pile constituée par 17 pièces de monnaie d'une demi-couronne en argent, séparées les unes des autres par des disques en cuivre et des rondelles de drap imbibées d'une dissolution de sel de cuisine. L'idée leur vint, pour établir de meilleures connexions avec l'objet qu'ils voulaient électriser, d'employer un petit récipient contenant de l'eau et dans lequel plongeaient les extrémités des fils. Dès les premiers moments du passage du courant dans cette eau, Carlisle remarqua qu'il s'en dégageait un gaz que Nicholson reconnut pour de l'hydrogène. Les résultats de cette expérience furent confirmés quelque temps après par les mêmes savants qui, cette fois, ayant dirigé leurs recherches vers ce but, employaient un petit appareil composé d'un tube en verre contenant de l'eau dans laquelle plongeaient les extrémités dénudées de deux tiges de cuivre reliées à la source de courant. Aussitôt la fermeture du circuit, des bulles de gaz apparurent à l'extrémité de la tige reliée au pôle négatif tandis que la tige du pôle positif prenait une teinte plus foncée caractérisant l'oxydation. En remplaçant ces tiges par des fils de platine, les deux extrémités immergées se recouvrirent de bulles d'hydrogène du côté négatif et d'oxygène du côté positif. Ces deux gaz ont été trouvés en proportion approchant la constitution de l'eau (1).

Cette découverte, a dit Davy (2), de même que la décomposition des sels due à Hisinger et Berzélius, la décomposition de l'ammoniaque, de l'acide azotique, etc., faite par le distingué chimiste anglais William Henry, combinées avec la décomposition des terres et des alcalis, créent, au début d'un nouveau siècle, une nouvelle époque dans l'histoire de la chimie (1).

Longtemps avant la découverte de la décomposition de l'eau par le passage d'un courant, en 1781, William Nicholson avait publié la première édition d'un ouvrage intitulé *An Introduction to natural Philosophy*. Dans la seconde partie du troisième volume de la dernière édition, il traite du magnétisme, des moyens de le communiquer et des variations du compas. « L'aimant, dit-il, est un minerai de fer très lourd, d'aspect noirâtre et sale et assez dur pour émettre des étincelles sous le choc de l'acier. On le trouve dans presque toutes les parties du monde et il possède du magnétisme naturel qu'il a sans doute acquis par sa position par rapport à celle de la terre qui le renferme ».

---

(1) Voir Pepper, *Electricity*, p. 312 ; Fahie, *History of Telegraphy to* 1837, p. 193 et 194; Lardner's *Lectures*, t. I, p. 339 et 340.

(2) *Phil. Trans.*, 1826, p. 386.

(1) Voir une note de Nicholson à la Royal Society (5 juin 1788) et intitulée « Description d'un appareil, qui par la rotation d'une manivelle produit les deux sortes d'électricité sans friction ni communication avec la terre » (machine à influence ou à induction ?). — *Nicholson's Journal*, t. IV, p. 179 ; 1800. — Despretz, *Physique*, p. 432 ; 1827. — *Mechanics Magazine*, 9 nov. ; 1839. — *English Cyclopedia*, t. XI, p. 82. — Tomlinson, *Cyclopedia of Arts*, etc., t. I, p. 366 ; 1862. — *Memoir of Joseph Henry*, p. 78 ; 1880. — Heighton, *The Electric Telegraph*, p. 28. — Noad, *Manual*, p. 353. — *Encyclopedia Britannica*, t. XXI, p. 628 ; 1855. — *Phil. Trans.*, t. LXXIX, p. 265. — *Phil. Mag.*, t. VII, p. 337 et t. XLV, p. 396. — C. H. Wilkinson, *Eléments de galvanisme*, t. II, pages 21, 46, 68, 375, etc. ; 1804. — *Bibl. Brit.*, t. XIX, p. 274. — Réponse de Volta à Nicholson, *Sciences et Arts*, t. I, p. 274 et t. II, p. 339.

Pour les différents traités et méthodes usités pour la décomposition de l'eau, voir Adam W. von Hauch, *Mons's Journ. de Chimie*, t. I, p. 109. — G. Carradori, *Journal de Physique*, an XII, p. 20 ; *Nuova Scel. d'Op.*, t. I, p. 29 ; Paris et Milan, 1804. — W. Wilson, *Phil. Mag.*, t. XXII, p. 260. — Cioni et Petroni, *Ann. di Chim.*, (Brugnatelli), t. II, p. 322 ; 1805. — Lettre de Van Marum à Nauche, *Journal du Galvan.* liv. IIe, p. 187. — *Gilb. Ann.*, t. XI, p. 220. — J.-C. Cuthbertson, *Phil. Mag.*, t. XXIV, p. 170 ; 1806. — J. Mollet, *Mémoires* publiés à Aix et à Lyon, 1821, 1823 ; dans les *Rapports de l'Académie de Lyon* et les *Comptes rendus*, 1823. — Leeson, *Sturgeon's Annals*, t. IV, p. 238 ; 1839. — Robert Hare, *Trans. Ann. Phil. Soc.*, N. S., t. VI, p. 339. — L. Palmieri et P. Linari-Santi, *Telluro-Elettricismo* ; 1844. — Merget, *Thèse* présentée à l'Académie des Sciences, le 30 août 1849. — A. Connel, *Phil. Mag.* 4e série, p. 456 ; juin 1854.

Dans la troisième partie du même volume il traite plus particulièrement d'électricité. Il parle de la bouteille de Leyde et d'un assez grand nombre d'appareils électriques employés à cette époque. Des détails d'expériences ainsi que certains faits ayant trait aux phénomènes d'électricité atmosphériques tels que les boules de feu, feux de Saint-Elme, etc., ont une large part dans la fin de cette troisième partie.

C'est à Nicholson que revient l'idée du duplex à rotation, un perfectionnement à l'appareil que Bennet avait imaginé en 1787 [1].

1800. — Cruikshanks (Williams), de Woolwich, confirme les expériences de Nicholson et de Carlisle et emploie une pile composée de 40 à 100 couples de zinc et d'argent. Il fut le premier qui substitua les fils d'argent à ceux de platine dans le tube à décomposition. En répétant plusieurs fois ces expériences il s'assure que le dégagement des gaz a lieu invariablement au pôle positif pour l'hydrogène et au pôle négatif pour l'oxygène. Ensuite il trouve : 1° que dans de semblables circonstances, les métaux peuvent être entièrement récupérés de leurs solutions, le métal réduit se trouvant déposé au fil négatif et 2° que l'emploi d'un métal inoxydable, comme l'or par exemple, donne lieu à un dégagement d'oxygène pur.

Ces résultats ont été confirmés par Henry Haldane, qui a lui-même entrepris une série d'études sur les métaux convenant le mieux à la production des courants voltaïques et a fourni à ce sujet quelques données intéressantes [2].

Cruikshanks découvrit aussi la même année un autre phénomène de décomposition des liquides par le courant voltaïque. Le tube ayant été remplacé par un récipient contenant de l'eau colorée à l'aide de quelques gouttes de litmus, il put voir que la teinte en devenait plus foncée dans le voisinage immédiat du fil relié au zinc de la pile. Une action contraire avait lieu avec de l'eau colorée seulement avec quelques brins de bois de campêche ; dans ce cas, c'était autour du fil relié aux disques d'argent de la pile que la teinte foncée s'accusait. L'action du courant donnait lieu, dans le premier cas, à la formation d'un acide, et dans le second cas, à celle d'un alcali. Fahie, l'auteur de cette remarque, dit que cette découverte a été le point de départ des télégraphes électrochimiques qui ont été proposés plus tard par Bakewel, Caselli, Bonelli, d'Arlincourt, Sawyer et autres.

Cruikshanks est l'inventeur de l'*auge galvanique* remplaçant la pile de Volta. Son idée a été adoptée en France pour la construction de la puissante pile de 600 couples dont Napoléon Bonaparte fit présent à l'École polytechnique. C'est à l'aide de cette pile que Gay-Lussac et Thénard firent leurs plus belles expériences en 1808.

La forme de cette pile, fait remarquer Hoad, convenait très bien pour l'emploi de l'acide azotique, car comme l'a démontré le Dr Fyfe [1], cet agent excitateur augmente l'intensité électrochimique du courant dans les proportions de 72 à 16, en comparaison avec l'acide sulfurique dilué.

Cette pile fut perfectionnée par le Dr William Babington (1756-1833), qui souda ensemble les plaques de zinc et de cuivre et les réunit sur une tringle de bois laquelle était suspendue horizontalement au-dessus d'une auge séparée en un nombre correspondant de compartiments. Cette disposition avait l'avantage de permettre de plonger ou de retirer d'un seul coup tous les couples et enfin d'en faciliter l'entretien.

Cette modification fut adoptée dans la construction d'une pile très puissante, entreprise pour le compte de la Royal Institution, de Londres, par Eastwick, sous la direction de sir Humphry Davy et de John George

(1) Une description et illustration de cet appareil a été publiée dans *Encyclopedia Britannica* et dans *Scien. Am. Supplement*, n° 647, p. 10 327.

(2) *Nicholson's Journal*, t. IV, pages 242 et 313 ; sept. et oct. 1800.

(1) *Phil. Mag.*, t. XI, p. 145.

Children. Cette pile était constituée par non moins de 2 000 plaques doubles de cuivre et de zinc ayant une surface totale de 128 000 pouces carrés (82,5 m²), et William H. Pepys la chargeait habituellement d'un mélange de 1168 parties d'eau, 108 parties d'acide azoteux et 25 parties d'acide sulfurique [1].

1801. — Davy (Humphry), philosophe et chimiste anglais, dont les premières études subirent l'influence éminente du Dr John Tonkin, de Penzance, et de Gregory Watt, fils du célèbre inventeur James Watt, de même que celle de M. Davies Giddy Gilbert, qui le présenta à l'Institution Royale anglaise, fait, le 25 avril 1801, devant cette société sa première conférence, dans laquelle il retrace l'histoire du galvanisme et décrit les diverses façons de le produire.

Sa première communication à la Société Royale fut faite au mois de juin de la même année, elle est intitulée : *An account of some galvanic combinations formed by the arrangement of single metallic plates and fluids, analogous to the new galvanic apparatus of Volta* (Description de quelques combinaisons galvaniques formées par des dispositions de plaques métalliques uniques avec des liquides, d'une façon analogue au nouvel appareil galvanique de Volta). Ce premier travail a, comme l'a fait remarqué, James Stewart Traill dans une biographie d'Humphry David, inauguré la série d'investigations en électrochimie qui ont immortalisé son nom.

Il construisit de nombreux modèles de piles ; dans les unes, les couples étaient constitués par deux plaques métalliques, et dans les autres, par une plaque métallique et une de charbon de bois avec interposition du liquide. Dans une de ses conférences, il a démontré [1] que l'emploi d'une seule plaque métallique soumise à l'action de deux liquides différents donnait lieu à la reproduction des phénomènes galvaniques, et que, par conséquent, il était facile de construire une pile suivant ces principes pourvu que l'un des liquides employés puisse provoquer l'oxydation de l'une des surfaces de la plaque métallique.

Le 20 novembre 1806, Davy fit devant la Société Royale sa première *Bakerian Lecture* [2] : *On some chemical agencies, of electricity*. (Sur quelques actions chimiques de l'électricité), donnant le résultat d'expériences qui placent leur auteur à la tête de la branche électrolytique de notre science. Cet essai fut universellement considéré comme une des contributions les plus importantes apportées à la chimie, et il valut à son auteur le prix fondé par le premier Consul, à l'Institut de France, et qui devait récompenser « celui qui, par ses expériences et ses découvertes, fera faire à l'électricité et au galvanisme un pas comparable à celui qu'ont fait faire à ces sciences Franklin et Volta ».

Davy devint membre de l'Institut en 1817. Dans l'important mémoire qui lui valut ces honneurs [3] Davy disait : « Du résultat de mes expériences de 1801, 1802 et 1803 et d'autres faits nouveaux qui ont montré que les substances inflammables et l'oxygène, les alcalis et les acides, et les métaux nobles ou oxydables, avaient des relations avec les phénomènes d'électricité négative et d'électricité positive, j'en conclus que les combinaisons et les décompositions par l'électricité peuvent être considérées comme des phénomènes analogues à ceux qui suivent la loi des attractions et répulsions électriques ». Il émet par

(1) Voir Wilkinson, *Eléments de Galvanisme*, t. II, p. 52, 63, 96 et 99 ; 1804. — Pepper, *Electricity*, p. 309 et 315 ; 1809. — Noad, *Manual*, p. 263-264. — Tomlinson, *Cyclopedia of Arts*, t. I, p. 566. — Napier, *Electro-Metallurgy*, pages 27 et 28 ; 1853. — *Nicholson's Journal*, t. IV, p. 187, 254, 261 et 511. — *Sturgeon's Annals*, t. IX, p. 309. — Cruikshanks « Some Experiments and Observations on Galvanic l'Electricity », juillet 1800 ; et aussi « Additional Remarks on Galvanic Electricity », septembre 1800.

(1) Voir *Bakerian Lectures*, p. 32, etc. ; Londres, 1840 et *Phil. Trans.*, t. XCI, p. 297.

(2) *Bakerian Lectures*, p. 36, etc. Dr Lardner's Lectures t. I, p. 349 ; 1869.

(3) Ce mémoire a été publié *in extenso* dans les *Bakerian Lectures*, p. 1 à 56.

suite l'hypothèse: « Que les attractions chimiques et électriques étaient produites par une même cause agissant, sur les molécules dans le premier cas et sur les masses dans le second...; et que cette cause elle-même, prise sous différentes modifications, était l'unique point de départ de tous les phénomènes auxquels les différentes combinaisons voltaïques donnaient lieu (1).

La deuxième conférence bakérienne : *On some new phen omena of chemical changes produced by electricity, particularly the de composition of the fixed alkalies, and the exhibition of new substances wich constitute their bases; and on the general nature of alkaline bodies.* (Sur quelques nouveaux phénomènes chimiques produits par l'électricité, particulièrement la décomposition des alcalis fixes, et la démonstration des nouvelles substances qui en constituent les bases; et sur la nature générale des corps alcalins, fut faite le 19 novembre 1807. C'est dans cette communication que se trouvent exposées ses plus belles découvertes en électrochimie. Il a, en effet, obtenu de leurs résultats la preuve certaine que les soi-disant alcalis fixes n'étaient que de simples combinaisons d'oxygène avec des métaux. Cette assertion fut d'ailleurs confirmée peu de temps après par MM. Thénard, Berzélius et Pontin (2).

Davy fut moins heureux dans ses essais sur la décomposition des terres proprement dites. Il a cependant pu prouver qu'elles étaient des bases contenant de l'oxygène. Mais c'est à Wœhler, Berzélius et Bussy qu'il était réservé de montrer que tous ces corps, excepté la silice, étaient des oxydes métalliques pouvant s'unir au fer.

La batterie de 500 plaques appartenant à l'Institution Royale fut tellement détériorée au cours des expériences de Davy que cette

(1) Thomas YOUNG's *Course of Lectures*, t. I, p. 678 et 684; Londres 1807. — *Noad's Manual*, p. 362-365; Londres, 1859.

(2) *Annales de Chimie*, t. LXXII, p. 193 et t. LXXV, p. 191 et 236. — *Bibl. Brit.*, p. 122; juin 1809.

société dut ouvrir une souscription pour l'achat d'une nouvelle pile et c'est à ce moment qu'elle acquit la batterie très puissante à laquelle il est fait allusion plus haut, dans l'article Cruikshanks.

A part quelques phénomènes d'ordre purement électrique, dus seulement à la puissance de la pile, Davy n'ajouta rien à ses découvertes sur l'électrochimie, contrairement à l'opinion de certains historiens de l'époque qui ont dit que cette batterie entrait pour beaucoup dans les résultats acquis par le savant.

C'est à l'aide de cette pile que Davy montra publiquement en 1809-1810 — et non en 1813 comme on l'a écrit quelquefois — le premier arc électrique continu. D'après le Dr Paris, il avait d'ailleurs réussi à produire l'étincelle entre deux pointes de charbon de bois dès 1800 (1), ce que confirme la lettre (2) qu'il adressa à Nicholson le 22 septembre 1800. D'autres observateurs paraissent avoir observé ce phénomène vers la même époque; le Dr S.-P. Thompson en a lui-même sciemment retrouvé la preuve dans une collection du *Journal de Paris*. Le numéro du 22 ventôse, an X (22 mars 1802) de ce journal publiait l'entrefilet suivant : « Le citoyen E.-G. Robertson, l'inventeur de la fantasmagorie, vient de faire d'intéressantes expériences qui sans doute élargiront notablement le domaine de nos connaissances en matière de galvanisme. Il a en effet, à l'aide d'une pile formée de 120 couples zinc-argent aux pôles de laquelle étaient reliés deux fils terminés par

(1) *Nicholson's Journal*, t. III, p. 150.

(2) . . . Si on attache aux deux fils reliés aux pôles de la pile deux petites baguettes de charbon de bois d'environ 2,5 cm de long et d'environ 2 mm. de diamètre, et qu'on en rapproche les deux pointes à une très faible distance, il se produit une vive lueur qui porte les deux extrémités des charbons au rouge blanc. En les écartant ensuite légèrement il se produit une décharge constante dans l'air affectant la forme d'un croissant éblouissant. Toute substance introduite dans cet arc lumineux était immédiatement brûlée; le platine lui-même fondait comme un morceau de cire à la flamme d'une bougie, le quartz, le saphir, la magnésie, la chaux, le diamant et les pointes des charbons même disparaissaient comme si l'arc les eut évaporés.

des baguettes de charbon, pu produire, en rapprochant ces baguettes, une puissante étincelle d'un éclat incomparable qui excita l'admiration de toutes les personnes présentes. Le citoyen Robertson doit répéter cette expérience très prochainement. »

Déjà en 1801, M. H. Moyes, d'Edimbourg, avait publié un mémoire [1] dans lequel il fait allusion à la production d'un phénomène analogue, de même que Frülander, de Berlin, communiquait les résultats de son expérience sur la pile voltaïque, résultats qui ont été publiés en même temps que ceux obtenus par Moyes (*Phil. Mag.*, loc. cit.).

La date généralement admise pour la découverte de l'arc électrique continu par Humphry Davy est 1809. Mais antérieurement à cette date il avait déjà publié de nombreux mémoires sur ce sujet [2]. Dans l'un d'eux [3] il expose ses premières tentatives pour rendre continue l'étincelle produite entre deux pointes de charbon, et représente l'appareil dont il s'est servi. Cet appareil se composait de deux tubes de verre soudés à angle droit dans la forme que représenterait un Y en le retournant. Deux des branches recevaient les charbons, la troisième servait de cheminée.

Parmi les mémoires présentés par Davy à la Société royale entre les années 1808-1814, figurent les suivants : *Electro-chemical researches on the decomposition of the earths, with observations on the metals obtained from the alkaline earths, and on the amalgam procured from ammonia.* (Recherches électrochimiques sur la décomposition des terres. Remarques sur les métaux extraits des terres alcalines et sur l'amalgame produit par l'ammoniaque.)

An account of some new analytical researches on the nature of certain bodies, etc. (Sur quelques nouvelles recherches analytiques sur la nature de certains corps, etc.).

Enfin, dans ses *Bakerian Lectures*, le distingué savant a fait plusieurs conférences non moins importantes parmi lesquelles nous relevons : *Elements of chemical philosophy, detailing experiments on electricity in vegetation* (Eléments de philosophie chimique. Expériences sur l'effet de l'électricité sur la végétation).

Dans une biographie de Davy qu'a publiée le *Chemical News*, en 1879, l'auteur rapporte que pendant les six années qui se sont écoulées de 1806 à 1812, les travaux et mémoires que Davy adressait sans relâche à la Société Royale, ont fait faire à la chimie plus de progrès que cette science n'en a accompli pendant les soixante années qui se sont écoulées après cette époque. Et encore, ajoute-t-il, les progrès qu'on a su faire dans ce laps de temps n'ont été que des conséquences des découvertes et nombreux mémoires nés du cerveau de l'illustre savant.

En 1810, Davy fut chargé par la Dublin Society d'ouvrir un cours d'électrochimie. Nommé quelque temps après à un poste important à Trinity College, le grade de chevalier lui était conféré par le prince Régent, le 6 août 1812.

L'année suivante, Davy fit, en compagnie de Faraday, son premier voyage sur le continent, où il rencontra Ampère, Humboldt, Gay-Lussac, Vauquelin, Cuvier, Laplace et d'autres hommes de sciences distingués, avec lesquels il entreprit de nouvelles recherches et fit de nombreuses expériences qu'il communiqua à la Société Royale de Londres.

Outre la médaille de Rumford qui lui fut conférée en 1816, Davy recevait, deux ans après, les titres de baronnet, et en 1827, la médaille de la Société Royale, société dont il occupa pendant sept années consécutives le siège présidentiel.

L'un des quatre mémoires produits par Davy en 1818-1819, traite d'électromagnétisme. Dans l'expérience qui en a fait l'objet l'auteur dit qu'ayant plongé dans de la limaille

(1) *Phil. Mag.*, t. IX, p. 219 ; 1er fév. 1801.

(2) Voir *Journal of the Royal Institution*, t. I, p. 106 ; 1802 et *Nicholson's Journal*, p. 150 ; oct. 1800.

(3) *Journal of the R. I.*, t. I, p. 214 ; 1802.

de fer les extrémités des fils reliés aux pôles d'une pile, il remarqua qu'une partie de cette limaille restait adhérente aux fils jusqu'à augmenter dix ou douze fois le volume de ces derniers [1].

En 1880, Davy, Arago et Seebeck découvraient, indépendamment, l'action magnétisante du courant électrique sur les barreaux et aiguilles d'acier et de fer. De 1821 à 1822, Davy poursuivit activement ses expériences sur l'électromagnétisme et sur les phénomènes électriques dans le vide, et il arriva à la conclusion que la lumière électrique, de même que les attractions et les répulsions électriques, se manifestait dans le vide le plus parfait qu'il pût atteindre. La démonstration de ces phénomènes était faite à l'aide d'un tube recourbé dont une reproduction figure dans la huitième édition de l'*Encyclopedia britannica* où l'expérience a été décrite [2]. La forme de ce tube fut d'ailleurs modifiée par Tyndall qui en fit usage dans ses cours où il traitait des analogies de la lumière avec la chaleur et le son.

En 1824, Davy avait communiqué au gouvernement anglais sa découverte de ce qu'il considérait comme un remède contre la détérioration rapide de l'enveloppe de cuivre des navires. Ce procédé consistait à changer les conditions électriques du cuivre en y ajoutant des plaques de zinc ou de fer (appelées *protector*); mais le doublage ainsi constitué, tombait si rapidement en ruines par suite de la décomposition des matières calcaires que le procédé dut être abandonné [1].

C'est dans la même année que Davy visita la Suède, la Norv ège, le Danemark, etc., et qu'il entra en rapport avec Œrsted, Berzélius, Gauss, Olbers, Schumacher et d'autres savants.

Sa dernière comunication à la Société Royale : *Remarks of the electricity of the torpedo* (Remarques sur l'électricité de la torpille), fut envoyée de Rome en 1828, un an avant sa mort. Ses investigations souvent interrompues par suite du mauvais état de sa santé, furent, sur sa prière, continuées par son frère, le Dr John Davy, qui fit sur la différence des phénomènes que produisent la torpille et ceux des différentes sortes d'électricité, les remarques suivantes : « ..... Comparée à l'électricté voltaïque, son influence sur le multiplicateur est faible ; son pouvoir décomposant est de même à peu près nul pour l'eau et les solutions métalliques. Mais, d'autre part, elle exerce une action magnétisante considérable sur le fer et communique des secousses très violentes.

« Comparée à l'électricité ordinaire, la manifestation des premiers phénomènes quoique peu sensible est plus distincte qu'avec l'électricité commune, laquelle prise dans les circonstances ordinaires n'en manifeste aucun. Seuls leur pouvoir magnétisant et celui de communiquer des secousses semblent en tous points similaires. »

Davy fit aussi des observations concernant la pyro-électricité de la tourmaline, affirmant qu'avec des pierres de très grandes dimensions on pouvait obtenir des étincelles lumineuses [2], fait curieux qui, d'après sir David Brewster, n'a jamais été vérifié depuis cette époque.

Il n'entre pas dans le cadre de cette esquisse

---

(1) *Phil. Trans.*, p. 9; 1821. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 93.

(2) Une étincelle capable de franchir une distance d'un demi-pouce (1,25 cm) à l'air libre peut aisément traverser un tube de Torricelli de 12 pouces de long (30 cm)... Le vide étant fait au mercure, si on laisse pénétrer dans le tube une très faible quantité d'air la couleur de la lumière produite par l'étincelle de vert pâle qu'elle était tourne au vert foncé puis devient bleue en augmentant la quantité d'air et finalement prend une teinte pourpre. L'exposition du tube à la chaleur de même qu'aux basses températures augmente la conductibilité du vide... la lumière apparaît plus brillante dans un vide fait au chlorure d'antimoine que dans un autre fait à l'huile d'olive pure; de très blanche qu'elle est dans le premier elle devient rouge dans le second. Les mêmes phénomènes se reproduisent dans l'hydrogène et dans l'oxygène. Le premier de ces gaz donne à l'étincelle une blancheur éblouissante tandis que le second lui donne une teinte rougeâtre et semble l'affaiblir.

(1) A. Robierre, *Thèse*..... pour doubler les navires; Nantes, 1853.

(2) *Elements of Chemical Philosophy*, t. I, p. 130.

historique de l'électricité de mentionner les autres travaux de Davy [1], parmi lesquels l'inventeur de la lampe de mineur qui porte son nom et ses nombreux ouvrages sur la théorie de la chaleur. Disons seulement à propos de cette dernière, que, comme Rumford et comme Thomas Young, il défendit l'opinion que la chaleur est un mode de mouvement [1].

P.-F. MOTTELAY.

(1) Voir *The Life of sir H. Davy*, par John Ayrton, Paris, M. D. 1831; et aussi par le Dr John Davy, F. R. S., 1836. — *Encyclopedia Britannica*, 1839-1840, biographie et travaux de sir H. Davy intitulés *Chemistry* et *Voltaïc Electricity*, publiés par John Davy. — *The fragmentary remains..... of sir H. Davy*; 1858. — *Dict. tech. et prat. d'Électricité*, de M. G. Durant; Paris 1887-1889. — W. T. BRANDE, *Manual of chemistry*, t. I, p. XCIII-CV, 213, 224; Londres, 1848. — C.-H. WILKINSON, *Elements of Galvanism*, t. II, p. 80-86, et ch. XVIII; Londres, 1804. — Thomas THOMSON, *History of the Royal Society*, p. 454; Londres, 1812. — D'LARDNER'S LECTURES, *Galvanism*. — NOAD, *Lectures on Chemistry*, p. 32. — BAKEWELL, *Elect. Sc.*, p. 33-35. — D. DAVIS, *Manual of Magnetism*; 1846-1852. — *Thomson, History of Chemistry*, t. II, p. 260. — W. HENRY, *Elem. of Exp. Chim.*, t. I, p. 192; Londres, 1823. — T. THOMSON, *Outline of the Sciences of Heat and Electricity*, p. 467, 491, 495; Londres, 1830. — DE LA RIVE, *Traité d'électricité*, t. II, p. 282. — *Encylopedia Metropolitana*, t. IV, *Galv.*, p. 176, 178, 222 et *Elect. and Magn.*, p. 9. — GAY-LUSSAC et THÉNARD, *Phil. Mag.*, t. XXXII, p. 88; 1809. — JACQUIN, *Phil. Mag.*, t. XXXIV, p. 73; 1810. — M. DONAVAN, *Phil. Mag.*, t. XXII, p. 227, 245; 1811. — *M. Yatman, A letter..... and Davy's Enquiries.....*; Londres, 1811-1841. — W. HENRY, *On sir H. Davy and Dr Wollaston*; Londres, 1830. — G. LELANDRI, *Ann. Reg. Lomb. Veneto*, p. 11, § 78; 1832. — ROUX, *Conservation des plaques...., pour navires*; Paris, 1866. — *Nicholson's Journal*, t. IV, p. 275, 337 et 394; t. I, p. 144 et t. III, p. 135. — DREDGE, *Electric Illum.*, t. I, p. 24, 25 et 30. — *Henry Moyes*, *Phil. Mag.*, t. VII, p. 347; t. XI, p. 302, 326; t. XXXVIII, p. 3, 104; t. XXIX, p. 372; t. XXXI, p. 3; t. XXXII, p. 1, 18, 22, 101, 146 et 193; t. XXXIII, p. 479; t. XXXV, p. 401; t. XXXVI, p. 17, 85, 352 et 405; t. XL, p. 179; t. LVIII, p. 43, 406; t. LIX, p. 468; t. LX, p. 145. — *Phil. Mag. or Annals*, t. I, p. 31, 94 et 190; t. VI, p. 81; t. X, p. 214, 379 et 426. — *Phil. Trans.* Années 1801, 1809, 1810 et 1822. — STURGEON, *Scientifics Researches*, p. 14, 16 et 23; Bury, 1850. — *Annales de Chimie*, t. XV, p. 113. — *Société philomatique*, Année X, p. 111. — BECQUEREL, t. I, p. XI et note 33. — *Nuova Scelta d'Opusc.*, t. II, p. 190, 282. — *Beitrage zur Erweiterung*, etc., Berlin, 1820. – *Elemente de Chimischen*, etc., Berlin, 1814. — Royal Society, *Catalogue of Scient. papers*, t. II, p. 171 et 175. — *Biographie générale*, t. XIII, p. 264.

BIBLIOGRAPHIE

Les transformateurs de tension à courants alternatifs; par F. LOPPÉ. Encyclopédie Leauté. — *Gauthiers-Villars* et *Masson*, éditeurs.

Entreprendre d'écrire un livre sur les transformateurs après la publication de l'excellent traité de M. Kapp était une chose des plus hardies; aussi doit-on féliciter l'auteur d'avoir donné une œuvre ne faisant nullement double emploi avec le livre du savant ingénieur. Le livre de M. Loppé sans cependant rien négliger du côté pratique est d'un niveau théorique plus élevé que celui de M. Kapp et convient par conséquent mieux aux ingénieurs que les résultats expérimentaux ne satisfont pas suffisamment si une explication théorique n'en vient renforcer la valeur.

L'ouvrage est, comme tous ceux du même auteur, divisé en deux parties, une partie pratique et une partie théorique.

Dans la première, se trouve la théorie de M. Hopkinson du transformateur à réluctance constante d'abord dans le cas théorique où la dispersion magnétique n'existe pas, puis l'étude de cette dernière ainsi que celle de l'influence de l'hystérésis, des courants de Foucault et enfin de la forme de la tension périodique aux bornes. Le seul point qu'on puisse faire remarquer à l'auteur est qu'il n'eût peut-être pas été inutile d'insister un peu plus sur ce qu'on entend maintenant par self-induction d'un enroulement dans un transformateur.

La seconde partie contient une étude personnelle de M. Loppé sur la détermination de l'induction magnétique et de l'épaisseur la plus convenable pour les tôles à employer dans son appareil à courant alternatif, étude qui a été analysée dans cette Revue [2]. L'influence de la fréquence, le calcul des transformateurs et les mesures de précaution à prendre dans l'installa-

(1) Sir Davy's works, t. II.

(2) *L'Éclairage Électrique* du 12 juin 1897, p. 548, t. XI.

tion de ces appareils sont également contenus dans cette partie.

Une description très documentée des principaux types de transformateurs terminent cet intéressant aide-mémoire.

En somme le livre de M. Loppé doit prendre rang parmi les bons ouvrages et est indispensable à tous les électriciens. Son prix, très modique le met du reste à la portée de tous.

F. Guilbert.

CHRONIQUE

Application des rayons Rœntgen à l'étude de la structure des alliages. — Le 6 mai dernier, MM. C.-T. Heycok et F.-H. Neville communiquaient à la Société de chimie, de Londres, les résultats de recherches intéressantes, faites avec les rayons Rœntgen, sur les alliages de sodium et d'or, métaux dont la transparence pour ces rayons est très différente.

Le sodium pur ne laisse voir aucune structure cristalline. Un alliage contenant 3 p. 100 d'or montre une masse transparente de cristaux de sodium avec des espaces obscurs dans lesquels l'or s'est concentré pendant la solidification. Dans un alliage à 10 p. 100 d'or, les cristaux de sodium sont plus resserrés et les espaces obscurs plus grands. Une solution de sodium saturée d'or à une température beaucoup plus élevée que le point de fusion de ce dernier corps apparait nettement noire et l'on peut voir quelques aiguilles opaques qui, sans aucun doute, sont des cristaux d'or qui se sont séparés.

Les auteurs continuent leurs travaux sur les alliages d'aluminium.

Applications nouvelles du courant ondulatoire en thérapeutique. — A la séance du 26 juillet dernier de l'Académie des sciences, M. G. Apostoli, présentait à ce sujet une note dont voici un extrait :

L'appareil à courant sinusoïdal de M. d'Arsonval permet, par un dispositif très simple, d'obtenir un courant sinusoïdal passant seulement par zéro, *sans changement de sens*. C'est là un *courant ondulatoire*, d'après M. d'Arsonval.

Le courant ondulatoire justifie pleinement, en thérapeutique, les découvertes physiologiques de M. d'Arsonval, dérivées de la connaissance de la *caractéristique d'excitation neuro-musculaire* et de ses rapports avec la forme de l'onde électrique. Il met en relief les propriétés variables des ondes électriques, dont il augmente la tolérance et sur tout la puissance par les trois caractères suivants : 1° suppression de l'alternance ou du renversement; 2° conservation de la courbe sinusoïdale; 3° adjonction du pouvoir électrolytique avec direction polaire constante.

Ainsi, avec une onde électrique non alternante ni renversée, frappant toujours dans le même sens, associant les effets variables aux effets continus et électrolytiques du courant, variant son voltage, le nombre de ses périodes et par suite son intensité même, suivant la volonté de l'opérateur, on vérifie dans les meilleures conditions les propriétés déjà formulées par M. d'Arsonval du courant alternatif sinusoïdal, et l'on l'étend même en élargissant le champ d'application thérapeutique de ce dernier.

L'épreuve clinique a été, pour moi, pleinement confirmative de ces prémisses physiques et physiologiques : d'après les résultats thérapeutiques généraux que j'ai constatés, après une expérimentation commençée en 1896 et poursuivie au total sur 145 malades, dont 108 pour la gynécologie....

En résumé, le courant ondulatoire, en gynécologie, d'une innocuité absolue et d'une tolérance constante, sans action appréciable sur l'évolution des néoplasmes utérins ou annexiels, parait être jusqu'ici le médicament par excellence de la *douleur*.

Moins souverain, mais fréquemment efficace quand même contre les hémorragies, contre la leucorrhée et la constipation, il aide encore très favorablement à la résorption des exsudats péri-utérins et il constitue un *analgésique* et un décongestionnant de premier ordre.

Ainsi le courant ondulatoire est une acquisition précieuse pour la thérapeutique électrique et me parait destiné à prendre une place très importante à côté des autres modes électriques déjà connus.

Les avantages des moteurs à gaz. — Dans une communication faite récemment à l'Engineering Conference de l'Institution of Civil Engineers, de Londres, M. Joseph-Emerson Dowson, comparait les moteurs à vapeur et les moteurs à gaz de ville et à gaz pauvre dont l'usage se répand de plus en plus ; voici les points principaux de cette communication :

Dans les villes et pour l'alimentation des moteurs de faible puissance, l'emploi du gaz pris sur les canalisations d'éclairage présente des avantages bien connus et que le conférencier rappelle succinctement. Tout d'abord, la suppression de la chaudière entraîne la suppression de toutes les suggestions inhérentes : cheminée, emplacement, stock de combustible, enlèvement des cendres, primes d'assurances, chauffeur. En second lieu le moteur est toujours prêt à fonctionner sans occasionner aucune dépense pendant son repos. Toutefois il est généralement admis que lorsque le gaz coûte plus de 15 cent. le mètre cube et que la puissance nécessaire dépasse 30 chevaux, l'emploi du gaz de ville est moins économique que celui de la vapeur pour les travaux de régularité ordinaire.

Mais dans ce dernier cas l'emploi d'un gazogène destiné à produire sur place le gaz nécessaire à la génération de l'énergie motrice peut être plus avantageux que celui de la vapeur. L'emplacement exigé par le gazogène est à peu près le même que celui qu'exige une chaudière et dans les deux cas un chauffeur est nécessaire ; mais la cheminée est inutile dans le cas du gazogène ou tout au plus se trouve réduite à un tuyau de faible diamètre destiné à conduire au dehors la petite quantité de gaz que fournit le gazogène pendant que le moteur ne fonctionne pas ; en outre les frais d'établissement et d'entretien d'une usine à gaz sont beaucoup moindres que ceux d'une usine à vapeur ; enfin, un moteur d'au moins 50 chevaux alimenté par un gazogène n'exige que 500 gr environ de combustible par cheval-heure, tandis que les bons moteurs à vapeur en exigent de 1 000 à 1 500 gr.

A propos de la consommation de combustible le conférencier cite deux essais qu'il a effectués. L'un se rapporte à un moteur de 120 chevaux et a duré 5 heures ; il a montré que la consommation n'était que de 340 grammes par cheval-heure indiqué. L'autre se rapporte à un moteur de 33 chevaux dont le gazogène était placé sur une balance de manière à connaître rigoureusement la dépense en combustible ; celle-ci a été trouvée égale à 540 gr par cheval-heure.

Mais si la consommation de combustible est faible, ce combustible doit être d'une certaine qualité ; généralement on prend du coke ou de l'anthracite, le charbon ordinaire et surtout le charbon gras donnant un gaz trop riche en hydrocarbures condensables qui nuisent à la marche des moteurs. Dans certains cas la nécessité de prendre du coke ou de l'anthracite peut rendre l'emploi du gaz pauvre trop onéreux. Récemment le docteur Mond est parvenu, en employant un système de purification très rapide du gaz produit, à utiliser le charbon bitumineux, mais son procédé n'est applicable, du moins jusqu'ici, qu'aux usines demandant une puissance d'au moins 2 000 chevaux.

Un autre avantage important de l'emploi des gazogènes est que, contrairement à ce qui se produit avec l'emploi de la vapeur, il n'y a aucune perte à craindre dans les conduites amenant le gaz du générateur au moteur. En effet, le refroidissement, si préjudiciable dans le cas de la vapeur, présente, dans le cas du gaz, l'avantage de faire arriver au moteur un gaz plus dense et par suite plus riche ; quant aux pertes, elles sont insignifiantes, le gaz étant sous une très faible pression. Pour ces raisons le gaz conviendrait parfaitement pour la distribution de l'énergie dans une usine importante ; le gaz produit dans un générateur unique serait conduit aux moteurs répartis dans les diverses parties de l'usine, supprimant ainsi les longues transmissions mécaniques et les pertes qui en résultent. Une importante usine des bords de la Clyde est d'ailleurs en train de modifier son installation dans ce sens.

Comme autre avantage non moins important, le conférencier signale la faible dépense d'une usine de ce genre pendant les arrêts des moteurs ; un gazogène capable d'alimenter un moteur de 200 chevaux ne consomme guère que 1 400 à 2 300 gr de combustible par heure pendant ces arrêts.

En terminant, M. Dowson insiste sur l'économie considérable que permet de réaliser la substitution du gaz pauvre à la vapeur pour les puissances faibles et rappelle qu'il résulte d'une enquête faite en 1885 par S.-F. Bramwell que la consommation de charbon de moteurs à vapeur de 5 à 30 chevaux était, en pratique, comprise entre 4 et 12 kg par cheval-heure, soit en moyenne 8 kg par cheval-heure.

La traction électrique à Buénos-Ayres (République Argentine). — Si la traction électrique n'a pas encore pris une place prépondérante sur l'immense réseau de tramways dont les ramifications sans nombre divergent en tous sens dans les rues de la capitale argentine, c'est sans doute à cause de l'excessif bon marché de la traction animale. Les chevaux, en effet, coûtent de 20 à 50 fr. On conçoit que dans de telles conditions et malgré les avantages qu'elle procure, la traction électrique a dans la traction animale un redoutable concurrent. Néammoins, on ne désespère pas de la voir peu à peu s'implanter sur le réseau entier. Une première ligne, allant de la Plaza de Mago au faubourg de Belgrano, distant d'environ 10 km du centre de la ville, fut mise en exploitation le 22 avril dernier et a eu un tel succès que la construction de trois autres lignes d'une longueur totale de près de 33 km et traversant les plus beaux quartiers de la ville a été décidée.

La ligne qui vient d'être inaugurée de la Plaza de Mago à Belgrano, est à double voie. Chacune d'elles est posée sur des traverses de bois indigène appelé « quebracho », que sa dureté excessive et sa longue conservation font choisir pour toutes les lignes de chemin de fer de ces régions. Ces traverses sont noyées dans un lit de béton que recouvre le pavage. Au milieu de la chaussée, c'est-à-dire entre les deux voies, sont érigés les pylones dont les bras supportent les fils aériens au-dessus de l'axe de chacune des voies.

Les voitures du matériel roulant sont toutes pourvues de deux moteurs G. E. 800. Ces voitures sont du type Stephenson et montées sur des trucks Peckham.

La station centrale a été établie temporairement attenant du hangar de remise, son équipement actuel ne se compose que d'un moteur à vapeur Smith de 68 chevaux et d'une dynamo G. E. pour tramways de 40 kilowatts.

Le *Street Railway Journal*, qui nous fournit ces renseignements estime que c'est du succès des premières lignes établies que dépendra l'avenir de la traction électrique sur le réseau de tramways de Buénos-Ayres et on en comprendra l'importance en disant que ce réseau comprend près de 369 km de lignes et que les voitures qui le desservent transportent annuellement 85 millions de voyageurs.

Lampe à incandescence à transformateur. — Bien que le platine, qui sert à constituer les fils d'attache des filaments de lampes à incandescence, ait sensiblement le même coefficient de dilatation que le verre, ces fils finissent par se séparer du verre dans lequel ils sont empâtés, donnant ainsi naissance à une fente imperceptible par laquelle l'air pénètre dans la lampe, abrégeant son existence et diminuant son pouvoir éclairant; c'est qu'en effet la chaleur spécifique du verre étant 6 à 7 fois plus grande que celle du platine, ce dernier s'échauffe plus rapidement au début de l'allumage et se refroidit plus vite aussitôt après l'extinction, de sorte que les dilatations et contractions des fils de platine et du verre ne se produisent pas en même temps.

Une lampe à courant alternatif imaginée par M. G.-W Meyer, déjà signalée dans ce journal et dont il est beaucoup question dans les journaux allemands, remédie radicalement à cet inconvénient. Dans cette lampe appelée *Transformatoren-Glühlampe*, le culot est placé au milieu d'une bobine parcourue par le courant d'alimentation; intérieurement à la lampe se trouve une seconde bobine qui constitue le secondaire d'un transformateur dont la bobine précédente est le primaire; le filament relié aux extrémités du secondaire est porté à l'incandescence par les courants induits.

Des essais récents ont montré que sous une différence de potentiel de 100 volts une lampe de 16 bougies exige une intensité de 0,49 ampère, soit 49 watts. La consommation par bougie serait donc de 3 watts, soit à peu près celle d'une lampe à incandescence ordinaire.

Rapport sur les dangers de la génération de l'électricité. — Pendant l'année 1896, la commission spéciale chargée par le Board of Trade d'inspecter les installations électriques, a visité 26 installations centrales diverses et dressé, à la fin de son enquête, un long rapport que publie en entier *The Electrician* dans son numéro du 16 juillet dernier. Nous en extrayons le tableau suivant dans lequel se trouvent exposées les causes qui ont déterminé la mort des victimes de l'électricité. Sa lecture ne saurait être que profitable aux électriciens.

VICTIMES	LIEU DE L'ACCIDENT	TENSION du courant.	OCCUPATION DE LA VICTIME AU MOMENT DE L'ACCIDENT	CAUSES PRINCIPALES NATURE DES DÉFAUTS
		Volts.		
1	Chatham (mars 1892).	2 400	Secourait un employé de la Compagnie d'éclairage qui venait de recevoir une forte secousse, mais non mortelle, en inspectant un transformateur dans le domicile d'un abonné.	Mauvaise protection des circuits à haute tension que la victime a touchés avec les mains nues.
2	Londres (K) (nov. 1892).	2 000	Réparait l'isolement d'un câble à haute tension placé dans un trou d'homme.	N'avait pas mis de gants protecteurs.
3	Brighton (fév. 1893).	2 000	A été foudroyé en manipulant un commutateur au tableau de distribution.	Mauvaise disposition de l'appareil qui se manœuvrait des deux mains et dont la poignée se trouvait disposée de telle façon que les doigts, en l'enserrant incomplètement, pouvaient toucher les bornes de contact, ce qui est arrivé pour le cas ci-contre.
4	Blackfriars (sept. 1893).	2 400	Secourait un de ses collègues tombé par suite d'une secousse sur une barre omnibus chargée du tableau de la station.	Insuffisance de protection des barres omnibus.
5	Blackfriars (juin 1894).	10 000	Établissait les connexions d'un câble avec une barre omnibus du circuit à haute tension.	Manque d'espace et surtout inexpérience de la victime, qui aurait dû mettre la barre hors circuit.
6	Prescot (juillet 1894).	2 000	En réglant la vitesse d'un moteur à vapeur commandant un alternateur, la victime aurait perdu l'équilibre et se serait accrochée, en tombant, aux fils d'un voltmètre. La rupture de ces derniers a, par suite, occasionné la secousse mortelle.	Les fils du voltmètre n'étaient pas suffisamment protégés et auraient dû être mis hors de toute atteinte en prévision même de l'inexpérience du personnel mécanicien.
7	Bankside (sept. 1894).	2 000	Pour une cause demeurée inconnue, la victime était montée sur une échelle près du tableau à haute tension de l'usine et est venue en contact avec les conducteurs chargés à haut potentiel.	On ne saurait attribuer cet accident à une défectuosité des installations ; les parties dangereuses que l'ouvrier a touchées se trouvant hors de toute atteinte même accidentelle.
8	Bristol (fév. 1895).	2 000	Était occupée, dans un poste de transformateur, à chasser les poussières introduites dans un plomb fusible.	Mauvaises dispositions des appareils, mais surtout imprudence de la victime qui, pour travailler plus facilement, avait enlevé un gant.

VICTIMES	LIEU DE L'ACCIDENT	TENSION du courant.	OCCUPATION DE LA VICTIME AU MOMENT DE L'ACCIDENT	CAUSES PRINCIPALES NATURE DES DÉFAUTS
		Volts.		
9	Taunton (nov. 1894).	2 000	Lubrifiait les paliers d'un alternateur dont le bâti était mis à terre. Cet alternateur était pourvu d'un garde-corps, lequel n'était pas recouvert de matière isolante.	La burette dont l'ouvrier se servait n'avait pas de poignée isolante, on suppose qu'elle a touché les balais et établi par suite le court circuit qui l'a foudroyé.
10	Cheltenham (déc. 1895).	2 000	La victime était occupée à faire quelques travaux de nettoyage dans un poste de transformateur, lorsque son coude est venu toucher une des bornes du circuit primaire.	L'accident est dû à la disposition des bornes du circuit primaire que rien ne protégeait.
11	Hampstead (janv. 1896).	2 000	En travaillant derrière le tableau de l'usine, la victime est venue accidentellement en contact avec deux bornes métalliques chargées à un potentiel différent.	Ces deux bornes que la disposition rendait dangereuses auraient dû être protégées ; de plus, l'espace dans lequel l'ouvrier travaillait était beaucoup trop restreint.
12	Bedford (mai 1896).	2 000	La secousse mortelle a été provoquée par l'imprudence de la victime qui, en voulant examiner plus facilement le plomb fusible d'un transformateur, aurait séparé son support de l'enveloppe de ce dernier, qui, par suite, ne se trouvait plus reliée à la terre.	Installation défectueuse des appareils en général et mauvais isolements des fils primaires.
13	Newcastle ou Tyne (janv. 1897).	1 000	L'accident a eu lieu dans un atelier éclairé par des lampes à arc ; l'un des ouvriers, en portant une échelle en fer, a engagé celle-ci dans les conducteurs d'une des lampes et en a reçu une secousse mortelle.	
14	Hampstead (mars 1897).	2 000	La victime descendait dans un poste de transformateur par une échelle en fer et a posé son pied sur l'enveloppe de l'appareil, laquelle, par suite d'un défaut d'isolement, se trouvait chargée à un très haut potentiel.	La cause de ce dernier accident est due à la disposition en tous points défectueuse des conducteurs à haute tension. (Voir à ce sujet le rapport qu'a publié le major Cardew. ***L'Éclairage Électrique*, *Supplément***, t. XI, p. xxx ; 8 mai 1897.)

Comme on le voit, pour les cas 1 et 4, les victimes ont trouvé la mort en voulant secourir d'autres personnes légèrement atteintes. Aussi le rapport conclut-il qu'on ne saurait trop recommander à ceux à qui il serait donné de porter secours aux foudroyés de s'entourer des précautions voulues pour ne pas subir le même sort et surtout de conserver leur sang-froid, ce qui est le meilleur moyen d'opérer un sauvetage de ce genre sans courir le danger d'être foudroyé.

Projet de règlement concernant les usines produisant ou faisant usage des courants à haute tension, en Angleterre. — En présence des accidents que nous mentionnons plus haut la commission chargée de l'enquête sur les installations électriques a proposé d'établir un nouveau règlement qui ne serait applicable qu'aux cas où il est fait usage de courants à haute tension. En voici le texte :

1° La carcasse ainsi que les plaques de fondation des alternateurs devront être mis à la terre d'une façon permanente ;

2° Les garde-corps entourant lesdits alternateurs devront être construits en bois ou tout autre matière non conductrice ;

3° Toutes les bornes, les balais ou autres dispositifs de prise de courant ainsi que les câbles de connexions au tableau et les parties du générateur susceptibles d'être touchées, devront être protégés ou recouverts de telle façon que tout contact même accidentel soit rendu impossible et qu'en travaillant autour d'un alternateur en marche aucun ouvrier ne coure le risque de venir en contact soit par les vêtements, outils, etc., avec deux parties chargées à des potentiels différents ;

4° Dans le voisinage des appareils servant à la manipulation des courants de haute tension, les planchers devront être recouverts, d'une façon permanente, d'un tapis en caoutchouc dont les propriétés isolantes seront vérifiées de temps en temps ;

5° Les chiffons servant au nettoyage des collecteurs ou bagues collectrices ne devront être appliqués sur l'appareil à nettoyer qu'à l'aide d'un manche isolant ;

6° En ce qui concerne les tableaux de distribution, les commutateurs, coupe-circuits, barres omnibus, etc., devront être disposés de telle façon qu'un ouvrier venant à les toucher accidentellement ne puisse en être affecté ;

7° Ceux de ces tableaux dont les connexions occupent la face postérieure ne seront accessibles, en temps ordinaire, que sur la face réservée aux appareils, et on ne devra pénétrer derrière le tableau qu'en cas de nécessité, de réparations par exemple. Il y aura lieu, quand une réparation devra être faite sur l'une des faces quelconques du tableau, de se conformer aux prescriptions ci-après :

a. Ces réparations devront être confiées à un électricien expérimenté ou à un aide placé sous sa surveillance et sa responsabilité.

b. Aucune réparation importante ne devra être faite sur des pièces métalliques traversées par un courant à haute tension.

c. Une réparation pourra cependant être faite s'il y a nécessité absolue pendant le passage du courant, mais après avoir eu soin de recouvrir toutes les parties métalliques traversées par le courant de garnitures en matière isolante ou de tous autres appareils de protection. Enfin, cet isolement devra être tel que deux parties métalliques appartenant à un même circuit ne pourront être dénudées simultanément.

8° A l'avenir tous les tableaux destinés à la répartition des courants de haute tension devront être construits de façon à laisser en arrière un espace libre dont la largeur ne devra pas être inférieure à 1,20 m. Cet espace sera clos, et l'accès n'en sera autorisé qu'aux personnes ayant qualité pour y pénétrer ; de plus il ne devra, pour aucune raison, être encombré ou servir de magasin ;

9° Toute personne effectuant une réparation sur un câble ou autre partie d'un circuit à haute tension devra avoir les deux mains revêtues de gants en caoutchouc ;

10° Les gants seront la propriété de l'usine. Il incombera au directeur le soin de s'assurer de leur bon état et de veiller à ce que les ouvriers s'en munissent lorsqu'il y a lieu ;

11° Tous les câbles aériens, à haute tension, seront isolés dès leur entrée dans un atelier ou bâtiment quelconque et supportés à de fréquents intervalles par des isolateurs. Leur disposition devra être telle que leur rupture accidentelle ne puisse donner lieu à aucun accident soit en tombant sur les personnes mêmes, soit en venant au contact de pièces métalliques susceptibles de transmettre le courant dangereux aux machines ou outils d'un atelier ;

12° Aucune inspection, réparation ou modification nécessitant la manipulation des câbles, fils, machines ou autres appareils traversés par des courants à haute tension ne devra être faite sous charge excepté dans le cas d'extrême nécessité, mais alors sous la surveillance d'un ingénieur électricien, ou d'un contre-maître expérimenté ;

13° La réparation d'un câble, feeder ou autre ne pourra être commencée que lorsque les commutateurs seront ouverts et clavetés dans cette position. Un surveillant s'assurera que ces conditions soient maintenues, et ne devra les modifier que d'après les ordres des parties intéressées.

14° Les burettes employées pour le graissage des machines devront être pourvues de poignées isolantes et, de plus, être construites dans de telles conditions que le contact d'une de ses parties avec une borne ou autre pièce métallique traversée par le courant ne puisse livrer passage à ce dernier;

15° Les enveloppes métalliques des transformateurs devront être mises à la terre d'une façon permanente et sans que l'enlèvement momentané d'un coupe-circuit ou d'une partie même de cette enveloppe puisse en déterminer la disconnexion;

16° Tous les objets métalliques placés dans un poste de transformateur et ne faisant pas partie du circuit, devront être isolés électriquement les uns des autres;

17° Les câbles du circuit primaire devront, à leur entrée dans l'enveloppe d'un transformateur, être protégés par une gaine isolante;

18° Tout câble, ou barre de connexion, placé dans l'intérieur d'un poste de transformateur devra être isolé de façon à écarter la possibilité d'un contact dangereux;

19° Chaque poste de transformateur érigé après l'application des règlements ci-dessus, sera pourvu d'un jeu de commutateurs, manœuvrables de l'extérieur, à l'aide desquels la mise hors circuit de tous les appareils renfermés dans le poste pourra être effectuée. Des dispositions analogues seront prises pour les postes installés antérieurement à l'exception toutefois de ceux où ces conditions seront reconnues impossibles à réaliser;

20° Chaque pylone ou support de lampe à arc, qui fait partie d'un circuit en série, devra être pourvu d'un dispositif permettant la suppression de cette lampe sans troubler le fonctionnement des autres;

21° Toute personne employée dans une station d'électricité ou autre usine faisant usage du courant électrique devra connaître les parties dangereuses des machines, câbles ou autres appareils de connexion. Elle devra de plus savoir pratiquer la méthode de respiration artificielle. Des instructions relatives à ladite méthode seront affichées bien en vue dans l'usine et à la portée du personnel afin qu'il puisse les apprendre et être en mesure de les mettre en pratique à tout moment. Pour les cas d'une certaine gravité, les soins donnés par le personnel ne devront être considérés que comme préventifs et le médecin devra être mandé immédiatement.

22° Tout accident survenant dans une station d'électricité ou poste de transformateur devra être notifié, comme le prescrit la loi spéciale (section 18, année 1895) concernant les manufactures et ateliers.

Le comité estime que, pour que ces règlements soient régulièrement observés, il y aurait lieu d'adjoindre au secrétaire d'État ou à l'Inspecteur en chef des ateliers un ingénieur électricien, chargé de les renseigner sur les points qui nécessitent des connaissances spéciales en électrotechnique.

La transmission électrique de Niagara à Buffalo. — Voici quelques détails complémentaires sur cette gigantesque installation. La ligne a environ 42 km de longueur; les conducteurs, au nombre de trois, qui transmettent le courant triphasé à 11 000 volts de Niagara à Buffalo sont des câbles en cuivre d'une section utile de 177 mm²; ils sont nus, l'isolement étant simplement assuré par les isolateurs en porcelaine de la forme déjà décrite (t. IX, p. 271, 7 novembre 1896); ces isolateurs ont été essayés à 40 000 volts avant d'être posés et ont donné toute satisfaction en pratique.

A l'entrée de Buffalo, les trois câbles aériens sont reliés à trois câbles souterrains de même section, qui sont isolés au caoutchouc, armés de plomb et placés dans des conduites, le long du canal. Ces câbles ont été essayés à 80 000 volts et, jusqu'à ce jour, leur service a été très satifaisant; à 11 000 volts ils peuvent servir à transmettre une puissance de 5 000 chevaux; on se propose cependant d'élever la tension à 22 000 volts afin d'obtenir une transmission plus économique. La conduite souterraine est divisée en 6 sections capables de recevoir les câbles nécessaires pour la transmission d'une puissance totale de 20 000 chevaux à l'usine transformatrice de la compagnie des tramways de Buffalo, où ces câbles aboutissent; à leur entrée dans cette usine, les circuits sont protégés par trois parafoudres système Wood.

Le courant alternatif est d'abord ramené à la tension de 500 volts, puis il est transformé en courant continu de même tension par des transformateurs rotatifs. Ceux-ci sont actuellement au nombre de deux; ils ont chacun une puissance de 400 kwt; ils sont à 6 pôles et font 500 tours à la minute; ils sont reliés aux transformateurs réducteurs de tension par des câbles en cuivre, isolés au caoutchouc, d'une section de 305 mm² chacun. Ils sont mis en marche par le courant continu à 500 volts,

et quand leur vitesse angulaire a atteint la valeur convenable, le courant triphasé est lancé dans le circuit. Le courant continu engendré par les transformateurs tournants est conduit au tableau de distribution par des câbles d'une section de 380 mm²; le tableau permet de lancer le courant sur n'importe quel feeder du réseau ou de connecter les transformateurs en dérivation avec les génératrices de l'ancienne usine génératrice.

Éclairage au gaz et à l'électricité. — Le *Gas World* publie les chiffres suivants relatifs à la consommation comparée du gaz et de l'électricité dans quatre grandes villes anglaises :

	Gaz.	Augmentation.	Électricité.	Augmentation.
		BRADFORD		
1895	40784425 m³		673699 kw-h	
1896	45562972 »	11,7 %	813623 »	20,7 %
		BRIGHTON		
1895	25374607 »		867494 »	
1896	27020486 »	6,5 %	1388821 »	60,1 %
		EDINBURGH		
1895	34344174 »		888335 »	
1896	38430640 »	11,8 %	1723690 »	94,0 %
		MANCHESTER		
1895	101389542 »		1748244 »	
1896	103255000 »	1,8 %	2721922 »	61,4 %

On voit que le développement rapide des applications électriques n'empêche pas l'industrie gazière de prospérer. D'un autre côté, il ne peut être désagréable aux électriciens de constater combien plus rapide est le développement de l'éclairage électrique. Le contraste est surtout évident pour la ville de Manchester.

L'éclairage par les tubes à vide. — M. Mc Farlan Moore, dont nous avons à plusieurs reprises relaté les intéressantes expériences d'éclairage électrique par les tubes à vide, vient de faire de nouveaux essais, publiés dans les annales du laboratoire de Newark (New-Jersey). La salle, garnie intérieurement de tentures blanches, contenait environ 50 spectateurs. Elle était éclairée par 14 tubes à vide disposés aux angles du plafond et au centre; de plus, l'inventeur avait décoré les murs de motifs lumineux dans le but de montrer l'application industrielle de son procédé à l'éclairage de devises ou de sujets de réclame.

La conférence faite par l'inventeur sur le nouveau mode d'éclairage ne nous apprend rien de nouveau si ce n'est que l'interrupteur à vide dont il s'était servi jusqu'alors a été remplacé par un appareil, qu'il appelle un « rotator », donnant une fréquence d'interruptions beaucoup plus élevée.

L'éclairage de la salle, dit un des spectateurs, sans être très intense, permettait de lire sans fatigue; la répartition des tubes donnait d'ailleurs une lumière très uniforme.

Ces résultats sont sans doute intéressants, mais il est un point important que l'inventeur paraît intentionnellement laisser de côté : c'est la dépense d'énergie exigée pour produire cette lumière. L'inventeur n'y ayant jamais fait allusion, il est à croire que cette dépense d'énergie doit être considérable.

Emploi du carbure de calcium comme phylloxéricide. — Dès le mois de mai 1896, M. E. Chuard attirait l'attention, dans la *Chronique agricole* (organe de l'Institut agricole de Lausanne), sur la valeur comme engrais chimique du résidu de la fabrication de l'acétylène par le carbure de calcium, résidu qui renferme de 0,210 à 0,348 d'ammoniaque p. 100. Dans une note présentée à l'Académie des sciences, dans sa séance du 31 mai, il signale les bons résultats qu'il a obtenus à Veyrier (Haute-Savoie), où la station viticole de Lausanne possède une vigne d'essais, par l'emploi du carbure de calcium pour développer les vignes phylloxérées et leur donner la vigueur nécessaire pour résister contre le phylloxera. Vu les propriétés toxiques de l'hydrogène phosphoré, c'est à ce gaz, qui se dégage en petite quantité en même temps que l'acétylène par l'action de l'eau sur le carbure de calcium, que M. Chuard attribue, du moins en grande partie, les propriétés phylloxéricides du carbure. Pour s'en assurer d'ailleurs il fait actuellement des essais avec un carbure assez riche en phosphure, obtenu en ajoutant du phosphate de calcium au mélange de carbonate de calcium et de coke.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 21 Août 1897. 4e Année. — N° 34.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE

M. Brylinski vient de terminer la série de ses articles sur la propagation des courants alternatifs, où il a abordé la question des conducteurs creux [1]. Cette question est intéressante non seulement au point de vue des applications industrielles, mais aussi au point de vue des mesures; en l'étudiant j'avais été amené à employer les mêmes séries que M. Brylinski, qui fournissent la seule solution du problème; mais la voie que j'ai suivie permet d'assigner avec une précision suffisante pour la pratique, l'épaisseur à admettre pour un conducteur, à une fréquence donnée, pour que l'énergie transformée en chaleur ne dépasse pas de plus de 10 p. 100 l'énergie calculée en partant de la résistance du conducteur. S'il s'agit d'appareils de mesure, de prendre par exemple un voltage déterminé sur un conducteur, on ne peut admettre des corrections aussi fortes, et l'on doit employer des conducteurs plus minces : des séries rapidement convergentes, dans ce cas, peuvent être substituées aux premières, et permettent d'effectuer avec précision les corrections nécessaires.

Soit T la période d'un courant sinusoïdal, ρ la résistance spécifique (C. G. S.) du conducteur;

$$a = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\rho T}{2\mu}}$$

est une longueur sensiblement égale à 1 centimètre pour le cuivre et une fréquence de 80.

Un conducteur annulaire sera caractérisé par deux nombres exprimant les rapports des carrés des rayons intérieur et extérieur à a^2 : lorsqu'il s'agit de conducteurs concentriques, quatre nombres s_a, s_b, s_c, s_d, sont nécessaires; on les supposera rangés par ordre de grandeur, de sorte que $a^2 s_a, a^2 s_b$, sont les carrés des rayons intérieur et extérieur de l'âme, ou conducteur enveloppé, $a^2 s_c$ et $a^2 s_d$, les carrés des rayons intérieur et extérieur de l'enveloppe [1].

Un conducteur annulaire étant parcouru par un courant alternatif, la densité de courant y est minimum, soit à la face interne s'il est enveloppé, soit à la face externe, s'il est l'enveloppe; le symbole Δ représentera le

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 26 juin, 10, 17 et 24 juillet, p. 5, 97, 149 et 200.

[1] On peut encore définir s comme le quotient par $\omega = \frac{2\pi}{T}$ de la résistance du conducteur par centimètre de longueur, ou de la résistance en ohms de 10 000 kilomètres.

rapport de la densité moyenne du courant sur toute la section du conducteur à cette densité minimum, et Φ l'avance du courant total sur ce courant périphérique, tandis que δ et φ seront respectivement le rapport de la densité maximum à la densité minimum et l'avance de ce courant de densité maximum, de sorte que $\delta = \frac{d_3}{d_4}$ ou $\frac{d_2}{d_1}$, et que φ est $\varphi_3 - \varphi_4$ ou $\varphi_2 - \varphi_1$ suivant les cas; l'avance du courant maximum sur le courant moyen ou $\varphi - \Phi$ sera représentée par Ψ.

Si l'on désigne par K le rapport de la chaleur dégagée dans le conducteur à la chaleur $R I^2$ qui serait dégagée pour une distribution uniforme de courant, on a

$$K = \frac{\delta}{\Delta} \cos \Psi.$$

Le coefficient de self-induction d'un semblable conducteur est également altéré; en affectant les lettres *i* et *e* au conducteur intérieur et à l'extérieur, il est par unité de longueur

$$L_e . \frac{s_3}{s_2} + K_i \operatorname{tang} \Psi_i \frac{1}{s_2 - s_1} + K_e \operatorname{tang} \Psi_e \frac{1}{s_4 - s_3}.$$

Les tableaux I et II se rapporte à des conducteurs de mêmes dimensions considérés comme âme ou comme enveloppe

Tableau I — $s_1 = 5$

s_2	Δ	Φ	δ	φ	K	$\frac{K \operatorname{tg} \Psi}{s_2 - s_1}$	Ψ
6	1,000	1°42	1,003	5°3′	1,001	0,0578	3°21′
7	1,002	6°24	1,033	17°33′	1,086	0,102	11°11′
8	1,011	13°19	1,129	34°58′	1,038	0,137	21°43′
9	1,029	21°54	1,315	52°38′	1,099	0,163	30°44′
10	1,063	31°50	1,816	68°52′	1,196	0,181	37°2′

Tableau II — $s_3 = 5$

s_4	Δ	Φ	δ	φ	K	$\frac{K \operatorname{tg} \Psi}{s_4 - s_3}$	Ψ
6	1,000	1°42	1,003	5°22′	1,001	0,064	3°40,
7	1,002	6°24	1,027	19°54′	1,020	0,121	13°32′
8	1,011	13°19′	1,183	39°43′	1,048	0,174	26°28′
9	1,029	21,54	1,472	59°37′	1,132	0,219	37°43′
10	1,063	31°50	1,593	76°44′	1,275	0,238	44°54′

Les valeurs de Δ et Φ sont identiques dans les deux tableaux.

Il est utile de comparer ces chiffres à ceux qu'on obtiendrait pour des conducteurs de même *épaisseur* et dont le rayon serait considérable. Dans la colonne épaisseur du tableau est indiquée, en *fraction* de la longueur *a* définie ci-dessus, l'épaisseur du conducteur, c'est-à-dire $\sqrt{6} - \sqrt{5}$, $\sqrt{7} - \sqrt{5}$, etc.

Epaisseur	Δ	Φ	δ	φ	K	Ψ
0,213	1,000	1°44′	1,003	5°13′	1,001	3°29′
0,410	1,002	6°24′	1,037	18°44′	1,010	12°22′
0,592	1,011	13°17′	1,153	37°6′	1,043	23°49′
0,764	1,030	21°58′	1,386	46°54′	1,114	33°56′
0,926	1,064	31°53′	1,734	72°43′	1,237	40°50′

On voit que pour une épaisseur donnée, les valeurs de K et de Ktang ψ correspondantes à $s = \infty$ ne sont pas très différentes de ce qu'elles sont pour le conducteur cylindrique, qu'il soit intérieur ou extérieur, et que, d'une manière générale, on peut dire que le coefficient K restera au dessous de 1,10 tant que l'épaisseur n'atteindra pas 0,7 *a*.

Lorsqu'il s'agit d'un conducteur plein, $s_1 = 0$; les valeurs de K ont été données par lord Kelvin pour des valeurs de $2\sqrt{s_2}$ ($= q$ de l'adresse présidentielle à l'Institution of Electrical Engineers du 10 janvier 1889). Dans le tableau III j'ai réuni les valeurs de δ. Δ, φ, Φ, et K pour des valeurs de *s* différentes, croissant par unités jusqu'à 10. J'y ai ajouté la valeur de $\frac{K \operatorname{tang} \Psi}{s_2}$; cette valeur doit être substituée au coefficient $\frac{1}{2}$ de la formule classique, qui donne le coefficient de self-induction de deux fils parallèles, au moins tant qu'ils ne sont pas très voisins. La correction serait plus forte pour deux fils rapprochés, mais est extrêmement difficile à calculer.

TABLEAU III

Conducteur plein $s_1 = 0$

s_2	Δ	δ	φ	K	$\frac{K \operatorname{tg} \Psi}{s_2}$ $0,5 - \frac{s^2}{48} - \frac{31\, s^4}{720}$	Ψ
1	1,041	1,229	52°17′	1,078	0,481	24°1
2	1,160	1,780	89°7′	1,265	0,435	34°33′
3	1,344	2,524	116°6′	1,479	0,389	38°2′
4	1,586	3.439	138°11′	1,678	0,343	39°17′
5	1,881	4,542	157°27′	1.853	0,320	39°54′
6	2,228	5,863	174°49′	2,007	0,283	40°18′
7	2,630	7,347	190°48′	2,146	0,263	40°38′
8	3,091	9,302	205°40′	2,274	0,246	40°55′
9	3,617	11,501	219°37′	2,394	0,234	41°11′
10	4,213	14,08	232°50′	2.507	0,221	41°24
16	9,763	40,82	300°55′	3,095	0,176	42°14
20	16,163	75,18	339°15′	3,415	0,157	42°33′
25	28,932	149,9	382°6′	3.795	0,142	42°54′
56,25	545.35	1265,1	588°50′	5,573	0,098	43°37′
100	12202,8	124223	737°31	7,323	0,071	43°57′
∞	∞	$\Delta\sqrt{s}$	$\sqrt{2s} - 22°30'$	$\sqrt{\frac{s}{2}} + 0,25$	$\frac{1}{\sqrt{2s}}$	$\operatorname{tg} \Psi = 1 - \frac{1}{\sqrt{8s}}$

Comme le fait observer M. Brylinski les calculs relatifs aux conducteurs creux sont très pénibles; il semble toutefois qu'on puisse les éviter dans la plupart des cas pratiques; les formules

$$\delta \cos\varphi = 1 - \frac{1}{24\, s^2}(\Delta s)^4 + \frac{1}{20\, s^3}(\Delta s)^5 - \frac{1}{20\, s^4}(\Delta s)^6$$

$$\delta \sin \varphi = s \left[\frac{(\Delta s)}{s} - l\, \frac{s + (\Delta s)}{s}\right] + \frac{1}{720}\, \frac{(\Delta s)^6}{s}$$

$$\Delta \cos \Phi = 1 - \left[\frac{1}{120}\, \frac{(\Delta s)^4}{s^2}\, \frac{1}{120}\, \frac{(\Delta s)^5}{s^3} - \frac{1}{140}\, \frac{(\Delta s)^6}{s^4} + \frac{1}{168}\, \frac{(\Delta s)^7}{s^5}\right.$$

$$\Delta \sin \Phi = s \left[1 + \frac{\Delta s}{2s} - \frac{(s + \Delta s)}{(\Delta s)}\, l.\, \frac{s + \Delta s}{s}\right]$$

dans lesquelles $s = s_a$, $\Delta s = s_b - s_a$, s'il s'agit d'un conducteur enveloppé, et $s = s_d$ $\Delta s = s_c - s_d$ s'il s'agit d'un conducteur extérieur, suffiront pour le cas fréquent dans la pratique, où $\frac{(\Delta s)^2}{s}$ est inférieur à 1/3.

APPENDICE

Pour représenter les valeurs de K en fonctions du rayon, ou plutôt de $\sqrt{s}$, deux formules empiriques ont été proposées, l'une par M. Brylinski (1), l'autre par M. Mascart (2); ces formules du premier degré en $\sqrt{s}$ quoique différentes donnent des valeur très suffisamment approchées pour la pratique; ce n'est qu'en étudiant avec un peu plus de précision l'allure de la courbe qui représente K, que l'on peut se rendre compte de cette particularité. Dans la note précitée, sir William Thomson indique que le rapport $\frac{K}{\sqrt{s}}$ tend vers $\frac{1}{\sqrt{2}}$; autrement dit, si on prend $x = \sqrt{s}$ comme abscisse, la courbe en K a une asymptote parallèle à la droite $K = 0,707x$: on peut faire un pas de plus et calculer l'ordonnée à l'origine de cette asymptote; elle est 0,25.

Mais la courbe K ne se rapproche pas toujours de son asymptote, elle a une allure serpentante que l'on peut rapprocher de celle de la courbe $\frac{\sin x}{x}$ et que l'on peut bien mettre

(1) *Électricien*, 1er février et 1re mars 1890. *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 82, 11 avril 1896.

(2) *Bulletin de la Société internationale*, décembre 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 469, décembre 1895 ; et t. VI, p. 129, 18 janvier 1896.

en évidence en calculant la valeur de $\frac{dk}{dx}$. On a en effet

$$\frac{dk}{ds} = \frac{k}{s} + \frac{\delta^2}{\Delta^2} \cos 2\Psi.$$

ou

$$\frac{dk}{dx} = \frac{2k}{x} + 2x\frac{\delta^2}{\Delta^2} \cos 2\Psi.$$

Les valeurs de cette dérivée sont donc faciles à déduire du tableau de la page précédente.

On trouve ainsi

s	$\frac{dk}{dx}$	x
$s = 3$	$\frac{dk}{dx} = 0{,}728$	$x = 1{,}732$
3,6	0,7465	= 1,897
3,9	0,7284 (max)	1,975
4	0,7468	= 2
6	0,7441	2,449
7	0,7037	2,645
8	0,6977 (min)	2,828
9	0,6978	= 3
10	0,6984	3,162
12	0,7002	3,364
16	0,7034	= 4
20	0,7074 (max)	4,472
25	0,7046	5
30	0,6996	5,377
36	0,7052	6
100	0,7084	10

l'on voit que le coefficient angulaire de la tangente oscille autour de celui de l'asymptote 0,707; la courbe présente une série d'inflexions, et suivant le choix des valeurs de x choisies, entre lesquelles on veut interpoler, on obtiendra des coefficients différents.

A. Potier,
Membre de l'Institut.

INSTALLATION A COURANTS DIPHASÉS

DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS

Après les transformateurs rotatifs ou convertisseurs et les appareils à courants triphasés du laboratoire électrotechnique de Mons [1], nous décrivons l'installation à courants diphasés.

I. Ensemble de l'installation

Les machines et appareils à courants diphasés de ce laboratoire sont en général du système Brown. Ils comprennent : 1° *Une génératrice tétrapolaire à inducteur intérieur* tournant et à induit fixe extérieur à enroulement imbriqué contenu dans des trous périphériques de section circulaire et non fendus. Elle est à excitation indépendante et peut développer 9 à 14 chevaux dans de bonnes conditions. Elle peut servir à l'occasion de génératrice à courant monophasé et de moteur synchrone à excitation indépendante.

2° *Une génératrice bipolaire du type Manchester* à auto-excitation ou à excitation indépendante à enroulement en anneau, pouvant donner jusque 6 chevaux et destinée à fonctionner le plus souvent en moteur synchrone à courants polyphasés.

3° Le *convertisseur Schuckert*, décrit antérieurement, qui peut fonctionner en génératrice ou en moteur diphasé à auto-excitation ou à excitation indépendante.

4° *Deux transformateurs fixes* à courants diphasés, de 3 chevaux chacun environ, pouvant transformer le courant à 75 volts en courant à 1580 volts et inversement.

5° *Un moteur asynchrone* de 5 chevaux utiles à enroulement, induit en cage d'écureuil qui peut fonctionner, comme appareil de démonstration, en moteur asynchrone à courant inducteur monophasé.

6° *Une self-induction et une capacité voltamétrique* pour le démarrage du précédent

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 145 ; t. IX, p. 97 ; t. XI, p. 197, 256 et 298.

en moteur à courant inducteur alternatif simple et courants induits polyphasés.

7° *Des cadres de lampes* fixes et mobiles pour absorber la puissance lors du fonctionnement sans le moteur.

8° Un *frein* de Prony et un *ventilateur* du système Rateau pour les expériences exécutées avec le moteur.

Nous allons donner les renseignements que nous possédons sur les principaux de ces appareils.

II. Génératrice tétrapolaire

A. *Description*. — Cette génératrice est représentée par les figures 1, 2, 3 et 4.

Elle est constituée par une *enveloppe centrale* cylindrique *b* portant deux pattes de fixation et contenant l'induit *d* en tôles isolées au papier. L'induit est maintenu par le serrage, dans l'enveloppe *b*, entre un rebord venu de fonte et une couronne fixée par des vis. A cette dernière viennent se fixer par des prisonniers deux flasques ajourées *a* formant paliers. Ceux-ci sont à réservoir d'huile, à coussinets en bronze de 40 × 140 mm et à bague mobile de graissage en laiton. Le palier de droite soutient deux porte-balais *i* pour le courant d'excitation. *L'arbre en acier* porte à gauche la poulie d'attaque et à droite les deux bagues en bronze *l* qui doivent permettre l'entrée du courant d'excitation dans les électros inducteurs.

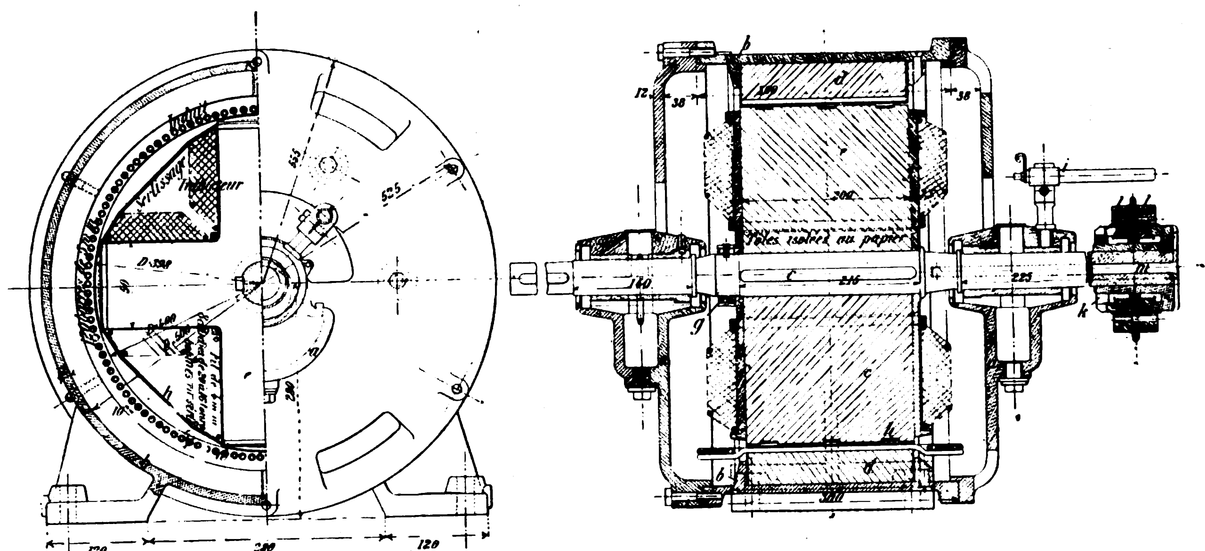


Fig. 1 et 2. — Demi-coupe et demi-profil transversaux et coupe longitudinale de la génératrice tétrapolaire.

Dans ce but, les bagues *l* sont fixées, par l'intermédiaire d'isolants, sur un manchon *j* à écrou de serrage *k*, maintenu sur l'arbre, et elles communiquent avec les bobines inductrices par deux fils passant à l'intérieur de l'arbre, en *m*, pour aboutir sur l'inducteur dans l'enveloppe de la génératrice. Deux balais frottent sur ces bagues et y conduisent le courant d'excitation extérieur.

L'inducteur, en tôles minces isolées au papier, est maintenu entre une embase fixe et une bague vissée sur l'arbre en *g*. Il est consolidé par deux plateaux en forme de croix à rebords, en bronze, qui maintiennent aussi les bobines des électros. Ceux-ci forment également une croix dont les branches n'ont pas d'épanouissement polaire.

Les bobines inductrices sont enroulées sur une gaine en carton de 1,5 mm d'épaisseur et soutenues vers le centre par une couronne en bois. Elles sont nécessairement à pans coupés et trois bons sertissages en fil de bronze les consolident et annulent en partie la force centrifuge. Une forte épaisseur de papier

amortit la pression due à ces sertissages.

L'enroulement de l'inducteur est constitué par quatre bobines reliées en série. Chacune d'elles comprend 8 couches de 20 à 16 tours de fil de 4 mm nu et 5 mm isolé. Le nombre de spires totales des quatre bobines est donc de

$$18 \times 8 \times 4 = 576.$$

Le courant d'excitation indiqué par le constructeur est de 20 ampères sous 15 volts à chaud. Le plus souvent, nous excitons à 12 ampères car le voltage correspondant à circuit ouvert, 70 volts, convient particulièrement pour nos lampes à incandescence. Dans les deux cas, le nombre d'*ampères-tours* total est :

$$576 \times 12 = 6\,912 \text{ A. t.}$$
$$576 \times 20 = 11\,520 \text{ A. t.}$$

La résistance des inducteurs, à froid, est de *0,704 ohm.*

L'*enroulement de l'induit* s'obtient, pour un des circuits (traits pleins) en partageant l'espace compris entre deux pôles en quatre parties égales deux à deux et pouvant contenir alternativement 7 ou 8 fils, en enroulant une bobine sur les deux parties extrêmes pour chaque entre-pôles et en reliant ces bobines de façon que leurs forces électro motrices s'ajoutent. Pour cela, le sens d'enroulement est inverse pour deux bobines voisines. Le tracé B_1 *a b c d e f* B'_1, indique clairement le bobinage du premier circuit. Ce dernier est symétrique par rapport aux axes des entre-pôles.

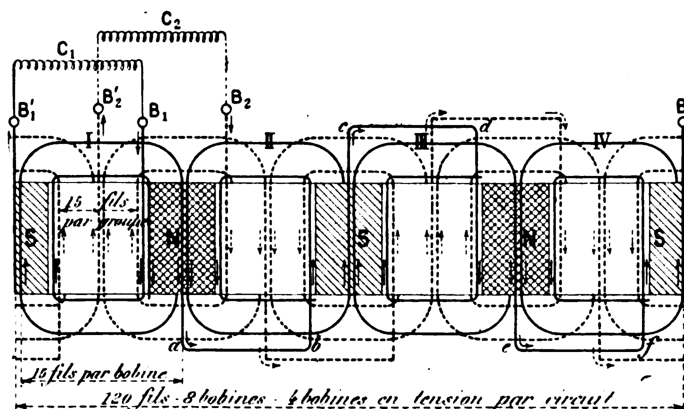


Fig. 3. — Enroulement de la génératrice tétrapolaire.

Le deuxième circuit, en traits pointillés, est symétrique par rapport aux pôles. Partant de B_2, il s'effectue exactement comme le premier, attendu qu'il doit donner la même force électromotrice décalée de 90°, et il aboutit en B'_2, après avoir rempli exactement les vides laissés par la première phase.

L'enroulement étant ainsi supposé formé de bobines, chacune d'elles a 15 fils, chaque phase a 4 bobines et l'ensemble contient :

$$15 \times 4 \times 2 = 120 \text{ fils.}$$

La figure 3 montre bien qu'on peut aussi considérer 8 groupes de fils voisins situés vis-à-vis des pôles et entre ceux-ci, et reliés alternativement à deux circuits distincts qui donnent les deux phases. L'évaluation de la force électromotrice totale se fait même plus facilement avec cette dernière décomposition de l'enroulement.

La résistance électrique de chaque phase est de 0,019 ohm et le nombre de fils de 60.

B. — Résultats d'expériences.

a). *Disposition d'ensemble des essais.* — La figure 4 représente le coin du laboratoire où se font les essais de la génératrice Brown tétrapolaire à courants diphasés.

Au premier plan, surélevée sur un bâti en maçonnerie au ciment, se trouve la machine en expérience.

Derrière, se fixe une petite génératrice tétrapolaire Méritens à courant continu, entraînée par un moteur du même type manchonné sur le même arbre. Sur le bâti du fond, par un mode d'attache que la figure montre parfaitement, est disposée une ancienne génératrice Dulait à courant continu.

A droite de ces génératrices qui sont mises

en mouvement par une transmission souterraine, il y a au premier plan un tachymètre, ensuite trois cadres de lampes à incandescence servant de résistance et, à peu près vis-à-vis, l'ensemble : capacité, résistances, galvanomètre balistique, lampe et échelle (dessiné schématiquement au tableau noir du fond) que nous employons pour le lever des courbes de force électromotrice.

La partie essentielle de ce dernier montage est formée de deux plateaux en bois placés contre la poulie d'attaque, dont l'un est mobile et l'autre fixe, d'un balai mobile et d'un balai fixe que l'on aperçoit plus ou moins bien sur la photogravure. Les autres appareils de mesure, ampèremètre, voltmètre et wattmètre, sont à droite des cadres de lampes, sur des consoles spéciales non visibles.

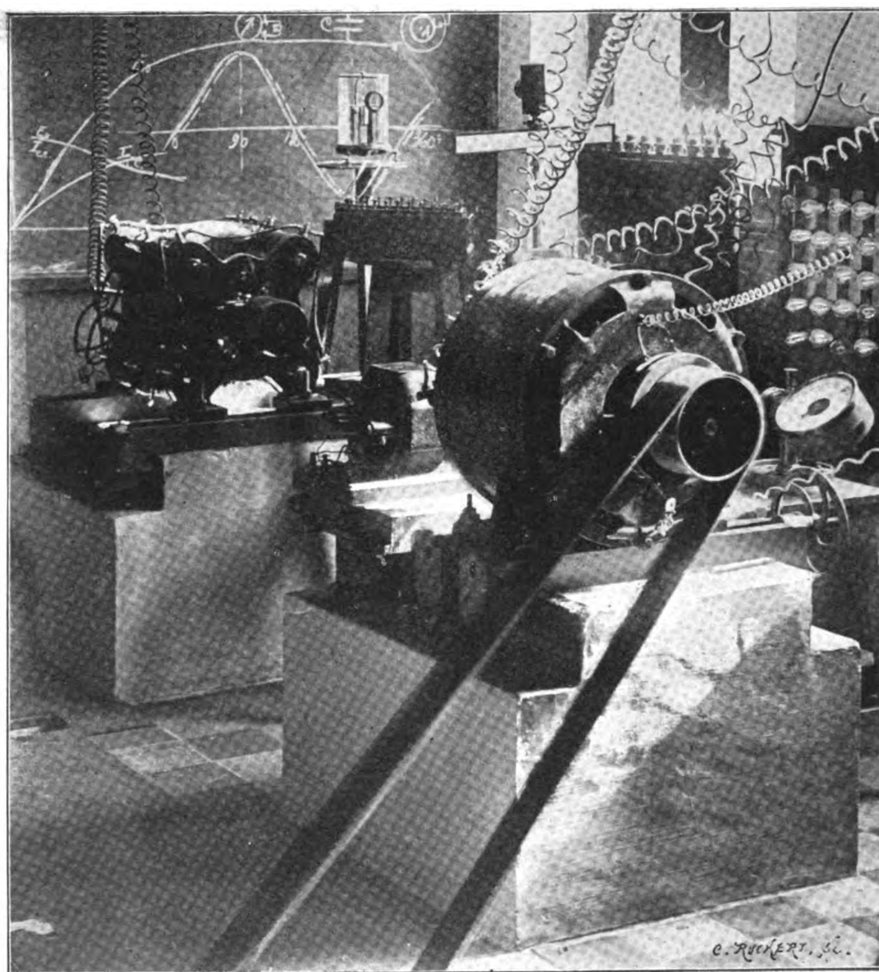


Fig. 4. — Génératrice tétrapolaire du laboratoire de Mons.

b). *Courbes de force électromotrice.* — La figure 5 indique schématiquement le dispositif, d'ailleurs bien connu, que nous venons d'esquisser et que nous employons bien souvent pour les courants alternatifs. Ses avantages essentiels sont qu'il occupe assez peu d'élèves et d'appareils spéciaux et que chaque machine peut en être pourvue à très peu de frais.

A A est l'arbre de la génératrice. P_1 est le plateau tournant portant une bande en laiton

continue H, sur laquelle frotte le balai F, et un contact I également en laiton, soudé à H,

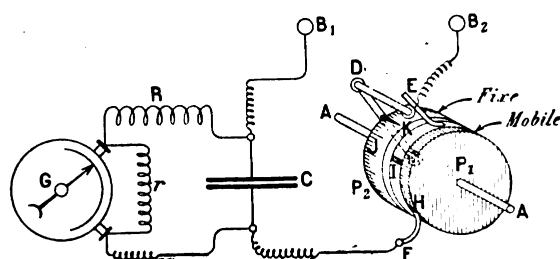


Fig. 5. — Dispositif employé pour lever les courbes de force électromotrice.

et sur lequel passe le balai E une fois par tour. Le balai F communique avec le condensateur C et le balai E avec la borne B_2. Le plateau J, gradué, est fixé sur la douille du palier de la dynamo et est fixe. Le bras mobile D porte une aiguille indicatrice K et le balai E. En le tournant d'angles égaux, E touche le contact I à des moments différents régulièrement espacés de la période et permet le levé de points différents de la courbe de la force électromotrice.

Le montage est complété par le condensateur C, la grande résistance R, le galvanomètre G rendu balistique et la résistance de shunt *r*.

L'expérience s'exécute en disposant les résistances pour que la tache brillante ne dépasse pas sur l'échelle une élongation de 150 mm environ pour le point le plus élevé de la courbe. Ensuite, d'abord en excitant l'inducteur, à circuits induits ouverts et à

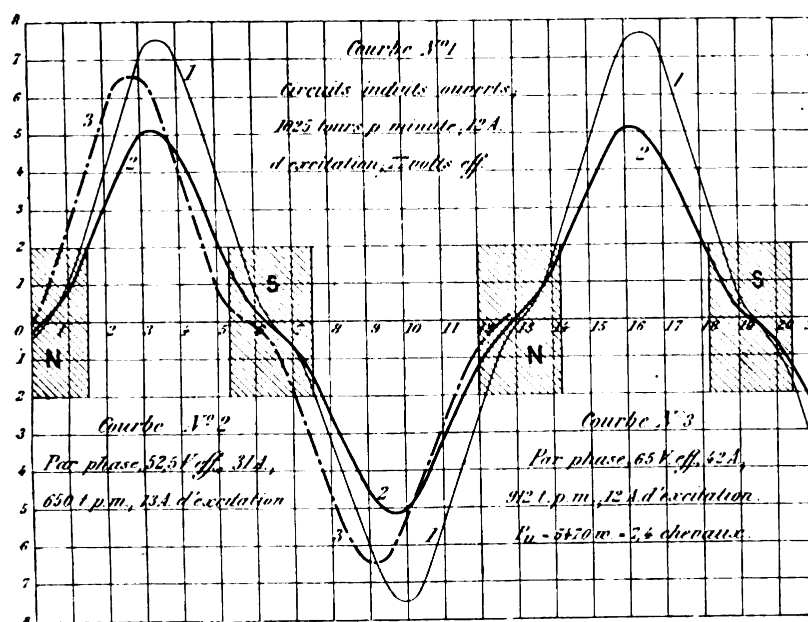


Fig. 6. — Courbes de forces électromotrices.

vitesse constante, on lève la courbe de force électromotrice en repérant convenablement la première division du plateau P_2 dont on se sert, ensuite, à circuit fermé et pour des débits différents, on détermine des courbes analogues en partant toujours du même point du plateau fixe.

L'opération ainsi conduite a permis le tracé des trois courbes de la figure 6. La courbe n° 1 est obtenue à circuits induits ouverts et les courbes 2 et 3 en débitant 31 et 42 ampères efficaces. Les décalages du courant sur la force électromotrice initiale sont bien indiqués, mais ils sont faibles parce que la réaction d'armature est relativement peu importante. Les courbes sont pointues. Le tracé de l'enroulement sur la figure 3 montre la raison de ce fait. Les groupes de fils d'un

même circuit couvrent exactement les pôles et par conséquent il y a théoriquement un seul point de la courbe qui correspond au maximum. Dans les cas analogues, où les pièces polaires sont peu étendues, la réaction déforme peu la courbe levée à circuit ouvert. C'est aussi ce qu'indique le tracé. Lorsque les élèves, il y a quelque temps, ont obtenu les courbes 1, 2 et 3, ils n'ont pu obtenir une vitesse constante parce que le laboratoire était en trop grande activité. Il est évident qu'il suffirait de multiplier les ordonnées par le rapport inverse des vitesses pour avoir les forces électromotrices à vitesse invariable.

c). *Caractéristiques.* — Les courbes 1 et 2 de la figure 7 montrent la variation de la force électromotrice à circuits ouverts pour une vitesse de 1 025 tours par minute et une excitation variant de 0 à 40 ampères, et le

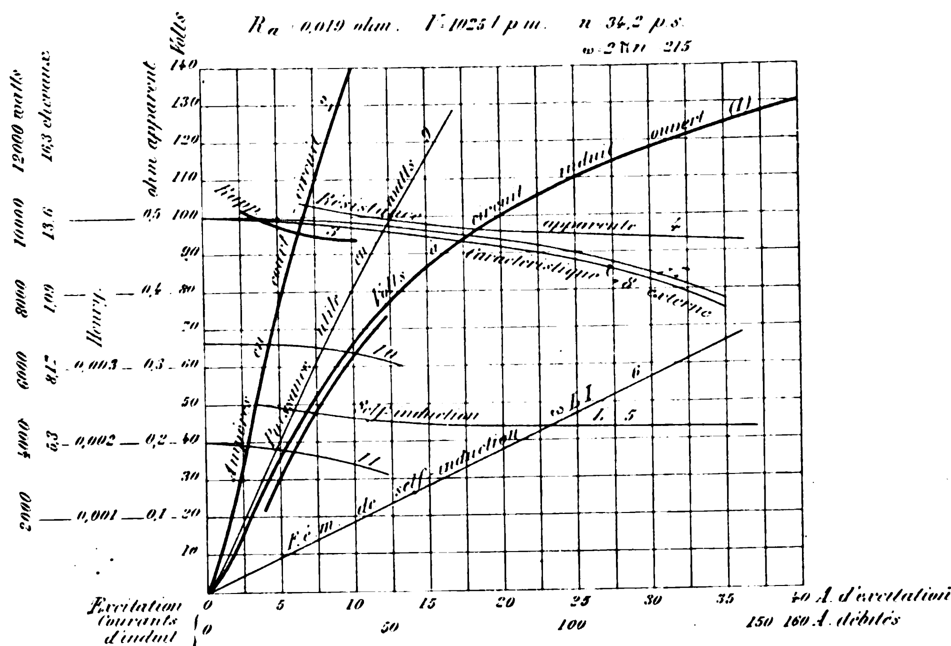


Fig. 7. — Caractéristiques.

courant en court circuit dans les deux enroulements pour une excitation allant jusqu'à 10 ampères.

Les forces électromotrices pour 12 et 20 ampères d'excitation sont 72 et 100 volts efficaces à circuits ouverts.

Ces courbes 1 et 2 permettent de tracer la courbe 3 de la résistance apparente des circuits de l'induit. Il suffit de faire le quotient des ordonnées

$$\frac{E_0}{I}$$

pour une même excitation. Elles permettent aussi, d'après le tracé de la figure 8, d'obtenir le coefficient de self-induction pour les excitations et les débits correspondants. Le triangle des résistances et de l'impédance donne en effet

$$\frac{E_0}{I} = \text{Rapp.} = \sqrt{R^2_a + \omega^2 L^2},$$

R_a étant la résistance de l'induit et ω la vitesse angulaire de la force électromotrice supposée périodique simple :

$$R_a = 0{,}019 \text{ ohm};$$

$$\varpi = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n = 6{,}28 \times \frac{1025}{60} \times 2 = 215.$$

Les courbes 4 et 5 figurent les résistances apparentes et les coefficients de self-induc-

tion en fonction des courants efficaces débités par l'induit. Les échelles sont indiquées sur la figure et permettent de se passer de tableaux de résultats toujours moins clairs et moins parlants que les dessins.

La courbe 6, qui est presque une droite donne les forces électromotrices de self-induction $\omega L_s I$ en fonction des courants d'induit.

En admettant, ce qui n'est pas tout à fait exact, que la self-induction déterminée par

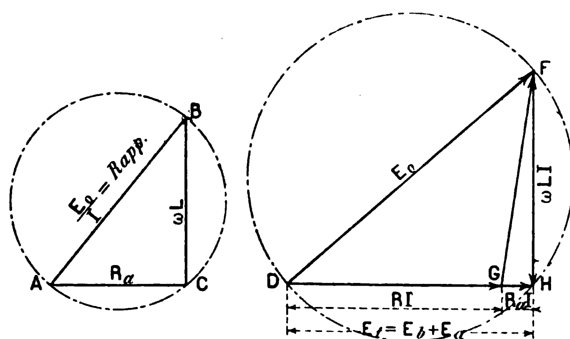


Fig. 8 et 9. — Diagrammes de forces électromotrices.

le fonctionnement en court circuit est la même que celle qui existe à excitation normale et à débit variable, on peut prévoir la caractéristique externe de la génératrice alimentant un appareil sans self-induction, tel que des lampes à incandescence.

La figure 9 donne le diagramme des forces électromotrices pour ce dernier mode de marche. E_o est la force électromotrice à circuit ouvert, pour certaine excitation. A 20 ampères d'excitation, c'est 100 volts efficaces. $\omega L_s I$ est la force électromotrice de self-induction. R_a I et R I sont les forces électromotrices effectives, faisant circuler le courant I dans la résistance intérieure R_a de l'induit et dans la résistance extérieure R sans self. Si nous appelons E_a et E_b ces valeurs dont la dernière est la force électromotrice aux bornes, on a pour force électromotrice totale :

$$E_t = E + E_a = RI + R_a I,$$

$$E_t = \sqrt{E_0^2 - \omega^2 L^2 I^2}, \qquad (1)$$

$$E = E_t - E_a. \qquad (2)$$

Les relations (1) et (2) permettent de calculer les courbes 7 et 8, pour l'excitation constante de 20 ampères, à l'aide des valeurs de E_o, ω et L déjà connues.

Les courbes 7 et 8 sont les caractéristiques totales et externes.

On voit qu'elles tombent lentement vers l'axe des courants efficaces débités par les circuits de l'induit.

Les produits des courants efficaces débités par les volts efficaces aux bornes (courbe 8) donnent les puissances utiles traduites graphiquement par la courbe 9.

Les courbes 10 et 11 donnent les caractéristiques externes levées à 10 et à 6 ampères d'excitation.

(*A suivre.*)

S. Hanappe.

FORME DES COURANTS

MÉTHODE DE M. JOUBERT

A côté des grandeurs mesurées couramment, force électromotrice et intensité, il y a, pour les courants alternatifs, une autre question d'un intérêt capital, que personne ne peut plus méconnaître aujourd'hui ; c'est la forme des courants étudiés.

Dans la plupart des théories relatives aux courants alternatifs, on se base sur l'hypothèse, rarement vérifiée, que le courant a une forme sinusoïdale, dont la période est réglée par la vitesse de l'alternateur et le nombre de ses pôles ; en réalité, on sait bien que, même avec une force électromotrice sinusoïdale, l'introduction dans le circuit des appareils d'utilisation ou de réglage, amène une déformation de la courbe. Il en résulte

que l'intensité ne suit pas la même loi que la force électromotrice, la puissance a pour valeur réelle :

$$P = \frac{1}{T} \int eidt,$$

et on n'a plus le droit d'écrire :

$$P = E_{eff} I_{eff} \cos \varphi,$$

à moins de donner à cos φ une signification spéciale, celle d'un facteur de puissance.

La connaissance exacte de la loi des courants en fonction du temps présente, autant pour la construction des alternateurs et des transformateurs que pour les applications des courants alternatifs, un intérêt considérable.

Quelques méthodes, dites analytiques (Pupin, Blondel), donnent cette relation sous forme mathématique; leur application est assez délicate et les équations obtenues sont trop compliquées pour l'usage courant.

Les procédés qui donnent, directement, la loi sous forme d'une *courbe*, en fonction du temps, sont d'un emploi plus général. On peut les grouper en deux catégories : les méthodes *par points*, qui permettent d'obtenir, isolément, chaque point de la courbe, et les méthodes *oscillographiques*, dans lesquelles l'appareil de mesure trace directement la courbe, à la manière de l'indicateur de Watt, par exemple.

Le principe de la première méthode consiste à mesurer la différence de potentiel entre deux points du circuit, à une phase connue de la période; une série de mesures semblables, faites pour des phases différentes, donne la courbe cherchée. Si les deux points du circuit sont reliés par une résistance sans induction, on obtient la loi de l'intensité.

Cette méthode exige l'emploi d'un contact, tournant synchroniquement avec le courant, capable d'établir, au moment précis, la communication entre le circuit et l'appareil de mesure. Ce contact doit pouvoir se déplacer par rapport à l'origine de la période, pour relever les différents points de la courbe. La différence de potentiel *instantanée*, existant au moment du contact, peut être mesurée, soit avec un électromètre ou un galvanomètre, soit par la décharge d'un condensateur, ou, enfin, opposée à une force électromotrice connue, prise sur un circuit à courant continu. L'origine de toutes ces dispositions se retrouve dans le travail de M. Joubert (1881).

L'emploi de l'électromètre est, comme toujours, assez délicat; il est facile d'y suppléer au moyen d'un condensateur et d'un galvanomètre balistique. Le galvanomètre, employé seul, donne des résultats incertains; il faudrait une durée de contact rigoureusement constante, et très courte, pour obtenir de la régularité.

Le contact tournant (fig. 1) se compose

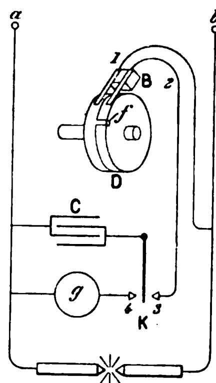


Fig. 1.
Méthode de M. Joubert.

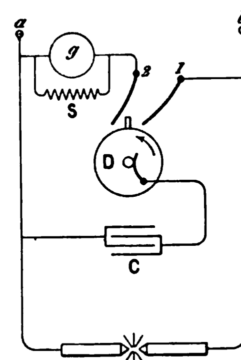


Fig. 2.
Disposition de M. Blondel.

d'un tambour d'ébonite D, relié mécaniquement à l'arbre de l'alternateur, ou, à défaut, porté par un moteur synchrone, de façon à ce que son mouvement suive bien la période du courant à mesurer. Cette condition est essentielle, car le moindre glissement amène des erreurs considérables et des déformations importantes dans la courbe obtenue; c'est pourquoi les moteurs synchrones ne doivent être employés que quand on ne dispose pas de l'alternateur lui-même, car, s'ils donnent le synchronisme *moyen*, ils peuvent subir, dans la durée de la période, des oscillations gênantes.

Sur la circonférence du tambour, un cercle continu, de laiton ou de bronze, occupe la moitié de la largeur et un doigt *f*, encastré dans l'ébonite, se projette sur la surface isolante. Deux ressorts, portés par un bloc isolant B, frottent sur le tambour, l'un sur la bague continue, l'autre sur la partie isolante; celui-ci vient donc, une fois par tour, en contact avec le doigt *f*; à ce moment les deux balais sont en communication. Le bloc B est porté par un bras articulé autour de l'arbre du tambour et sa position angulaire peut être exactement relevée sur un cercle divisé.

Soient *a* et *b*, les deux points entre lesquels on veut relever la différence de potentiel (fig. 1). Un condensateur C a une de ses armatures reliée au point *a* et au galvanomètre *g*; l'autre armature est connectée à la clef de décharge K. Le ressort 1 est relié au point *b*, tandis que le ressort 2 vient à la clef de décharge.

Quand le contact tourne, la clef K étant abaissée sur 3, le condensateur prend, à chaque tour, une charge proportionnelle à la différence de potentiel eutre *a* et *b*; celle-ci étant constante et le condensateur ayant un isolement assez grand pour que la perte de charge soit nulle pendant la durée d'un tour, il suffit, à un moment quelconque, de décharger le condensateur dans le galvanomètre, pour que l'élongation donne une valeur proportionnelle à la différence de potentiel cherchée. En déplaçant successivement le bloc B, d'angles connus, plus ou moins rapprochés suivant la variation observée, on obtient les points nécessaires à la construction de la courbe. L'étalonnage se fait, très simplement, en mettant en *a b* une force électromotrice constante et connue.

Dans le but d'obtenir l'enregistrement automatique de la courbe, M. Blondel emploie un dispositif un peu différent (fig. 2). Le disque tournant porte un doigt *f*, saillant sur le tambour, lequel vient toucher, successivement, les ressorts 1 et 2. Le condensateur étant relié au disque D, au moyen d'un balai à frottement continu, le ressort 1 sert à la charge du condensateur et le ressort 2 à la décharge. Il y a donc à chaque tour une décharge du condensateur et, comme l'intervalle entre deux impulsions est toujours beaucoup plus petit que l'oscillation du galvanomètre, celui-ci prend une déviation permanente proportionnelle à la différence de potentiel à mesurer.

Un mouvement d'horlogerie fait avancer lentement le bras qui porte les deux ressorts et une feuille de papier sensible sur lequel vient tomber le spot; celui-ci se déplace donc proportionnellement à l'angle de calage des ressorts. Comme, d'autre part, sa déviation est proportionnelle au courant au même moment, quand le porte-balai a fait un tour complet, le papier sensible a reçu une image complète de la période, il suffit de développer et de fixer l'épreuve.

Dans cette disposition, M. Blondel emploie un galvanomètre à cadre mobile, shunté convenablement. Il faut que le condensateur ait une capacité assez petite pour se charger et se décharger complètement pendant la durée des contacts, et ceux-ci doivent être très courts; il est bon de vérifier si cette condition est remplie : en faisant varier la capacité du condensateur, les déviations doivent toujours être proportionnelles aux capacités.

Le plus grand soin doit être apporté dans la construction du contact tournant, qui doit toujours s'établir et se rompre au même moment, pour une position donnée du porte-balais. La disposition de la figure 1, est bonne à ce point de vue, car le doigt étant encastré dans l'ébonite, le ressort 2 frotte toujours et ne vibre pas; il faut veiller à ce que les bords du doigt soient nets et au niveau de l'ébonite, jamais en dessous. La position du bras porte-balais doit pouvoir être relevée très exactement, une petite erreur de ce côté amenant des déformations sensibles dans la courbe.

L'emploi, simultané, de plusieurs tambours semblables, permet de relever en même temps divers facteurs intéressants et, quand

la rupture des contacts se fait bien au même moment, on obtient la différence de phase exacte entre ces facteurs.

Cette méthode et ses dérivées ne peuvent donner qu'une courbe *moyenne*, quelles que soient les précautions prises, car les variations, inévitables, de la vitesse de l'alternateur, amènent des variations correspondantes de la force électromotrice; en outre, les variations *non périodiques* amènent des perturbations qui se traduisent par un *flou* dans la courbe obtenue.

OSCILLOGRAPHES

Lorsqu'un galvanomètre quelconque est parcouru par un courant alternatif, il tend à prendre un mouvement en synchronisme avec la période de ce courant; il suffit, comme l'a démontré M. Cornu, que le galvanomètre employé soit amorti. Si la période du courant est petite, par rapport à l'oscillation du galvanomètre, l'amplitude maximum de la déviation est tellement réduite, relativement à la déviation que donnerait un courant permanent de même intensité, qu'on peut la considérer comme nulle; si, au contraire, l'oscillation du galvanomètre n'est qu'une fraction très petite de la période du courant, le galvanomètre suit parfaitement toutes les variations de celui-ci.

L'oscillographe de M. Blondel réalise la dernière condition de la façon suivante : une palette de fer doux, très étroite, oscille, entre deux pivots, dans un champ magnétique intense formé par un aimant permanent ou un électro-aimant; le système ainsi formé a une durée d'oscillation qui atteint, paraît-il, un dix-millième de seconde dans les appareils les plus récents.

Deux bobines, parcourues par le courant alternatif, entourent la palette de fer doux et lui impriment des mouvements en concordance avec le courant à mesurer. C'est, en résumé, un galvanomètre à fer doux, genre Deprez, dans lequel l'inertie a été très réduite et la force directrice beaucoup augmentée. Tout autre système de galvanomètre, réunissant les mêmes conditions, rendrait les mêmes services.

La palette est plongée dans un liquide très épais, généralement le baume de Canada, de façon à approcher de l'amortissement critique; ceci est essentiel, car, autrement, le galvanomètre ajoute ses oscillations propres à celles du courant.

Le mode d'observation employé par M. Blondel est très simple : un disque tournant A, mû par un moteur synchrone, est percé de fentes radiales équidistantes; il est placé devant l'oscillographe (fig. 3), de façon à permettre l'observation du miroir au travers des fentes quand elles sont horizontales; par celles-ci, on observe l'image d'une autre fente verticale, fixe, réfléchie par le miroir de l'oscillographe. Le mouvement de rotation du disque fait que l'on observe, à chaque instant, un point différent de la fente verticale; c'est un déplacement en fonction du temps. Le déplacement proportionnel à l'intensité est donné par le mouvement du miroir qui vient projeter l'image de la fente fixe à une distance variable du centre du disque. La déformation des courbes, causée par le mouvement angulaire des fentes radiales, est très petite si on a soin de donner au disque un grand rayon. Les fentes doivent être nombreuses et il doit y avoir une réduction de vitesse convenable entre le moteur et le disque, pour que chaque fente permette l'observation pendant plus d'une période. Grâce

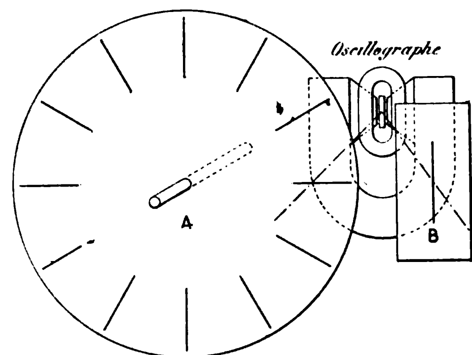


Fig. 3. — Observation stroboscopique.

au synchronisme, les images successives, données par chaque fente, se superposent, ce qui rend leur observation très facile.

Si nous considérons l'équation d'équilibre d'un galvanomètre parcouru par un courant périodique d'intensité $i = f(t)$,

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + A \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = Gi,$$

nous voyons que l'oscillographe de M. Blondel repose sur l'élimination des termes $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ et $\frac{d\alpha}{dt}$, obtenue en donnant une très grande importance relative au terme en α. La déviation α suivrait très exactement le courant i, si ces termes étaient nuls; en réalité ils ne le sont pas et c'est justement parce qu'on ne peut pas annuler l'inertie K, qu'il faut amener le système à l'apériodicité critique, pour éviter les oscillations propres du système. Pour les fréquences employées couramment, la durée d'oscillation d'un dix-millième de seconde, permet de suivre, sans déformation appréciable, la forme des courants industriels.

On peut également donner la prédominance à un des deux autres termes et créer ainsi deux autres types d'oscillographes; en augmentant relativement le terme $A \frac{d\alpha}{dt}$, on aurait un appareil à amortissement, mais il paraît difficile de donner à A une valeur suffisante pour réaliser cet instrument.

Dans le *rhéographe*, M. Abraham a voulu négliger les termes en $\frac{d\alpha}{dt}$ et α, pour ne faire agir sur l'équipage mobile, que les accélérations imprimées par un courant i, qui est lui-même la dérivée seconde, obtenue par une double induction, du courant I. Comme il est impossible de rendre complètement négligeables les deux termes éliminés, M. Abraham a eu l'idée de demander au courant I la compensation de ces termes.

Dans cet instrument il y a à considérer deux appareils distincts: le *rhéographe* proprement dit et la *table de compensation*.

Le rhéographe est un galvanomètre dont le cadre mobile, de dimensions extrêmement réduites, se meut dans le champ formé par un électro-aimant; ce champ atteint facilement 4000 unités. Le cadre mobile a une très faible inertie, mais, différence essentielle avec l'oscillographe de M. Blondel, le couple directeur W est aussi très petit, de sorte que la durée d'oscillation du système est de quelques dixièmes de seconde, c'est-à-dire *plus grande* que la période des courants à mesurer.

La table de compensation est représentée schématiquement par les figures 4 et 5. Une

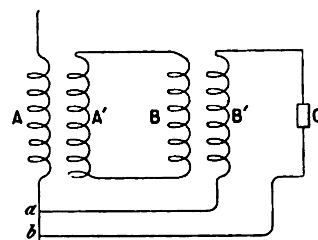


Fig. 4. — Schéma de la compensation.

première bobine d'induction reçoit en A le courant à mesurer; celui-ci induit, dans A', un courant qui est envoyé dans la seconde bo-

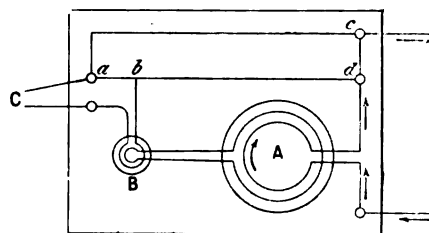


Fig. 5. — Table de compensation.

bine B; une seconde induction, dans le circuit B', envoie, dans le cadre mobile du rhéographe, un courant :

$$K' \frac{d^2 I}{dt^2}.$$

Les deux bobines, A et B, sont assez voisines pour que A induise directement, dans B', un courant :

$$A' \frac{dI}{dt};$$

enfin, le circuit B' et C reçoit une dériva-

tion du courant I, prise entre les points *a* et *b* :

$$W'I.$$

Le courant qui traverse le cadre mobile a donc pour valeur :

$$K' \frac{d^2I}{dt^2} + A' \frac{dI}{dt} + W'I = G'i,$$

Si on fait :

$$\frac{K}{K'} = \frac{A}{A'} = \frac{W}{W'},$$

et si, d'autre part, le courant *i* est nul, on a, à chaque instant, α proportionnel à I. Par suite de la self-induction des bobines A, B et C, il ne peut en être ainsi, de telle sorte que l'appareil n'est pas rigoureusement exact, il l'est d'autant moins que la fréquence est plus grande; on peut, néanmoins, obtenir par ce moyen l'inscription de décharges oscillantes de l'ordre du dix-millième de seconde.

Le réglage se fait, expérimentalement, d'une façon très simple. La dérivation du courant principal est prise sur un fil *c*, *a*, *b*, *d*, en dérivation, lui-même, sur le courant principal; le point *b* est variable, un curseur permet de le déplacer le long du fil, ce qui permet de régler W'.

La bobine B peut être approchée, plus ou moins, de A, de façon à faire varier le coefficient A'. Seul, le coefficient K' est réglé par construction; on doit remarquer que K représentant l'inertie du cadre mobile est un coefficient invariable. A varie avec l'excitation de l'électo; W change seulement quand on modifie la suspension et, enfin, G dépend des dimensions et de l'enroulement du cadre mobile; il résulte de tout ceci que le réglage le plus fréquent est celui de A', puisque l'intensité d'excitation est très variable.

Lorsqu'on veut photographier les courbes données par le rhéographe, le procédé employé est très simple : un miroir M, (fig. 6), oscillant autour d'un axe *a a'*, fait avec cet axe un angle de 45°; il est placé devant le miroir du rhéographe *m*; un contrepoids, placé en dessous, fait de tout ce système un pendule à oscillation assez lente.

Une lampe à arc L envoie un faisceau lumineux sur M et de là sur *m*; réfléchi par *m*,

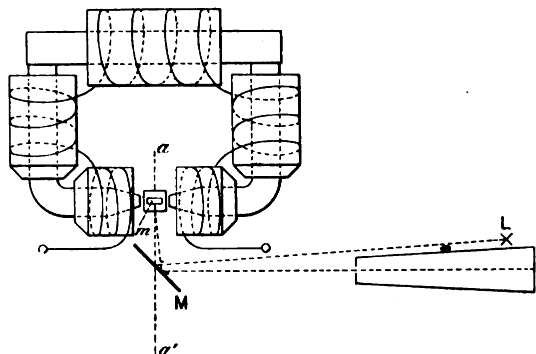


Fig. 6. — Disposition photographique du rhéographe.

ce faisceau revient, par une marche inverse, se projeter sur une plaque sensible E, placée au fond d'une chambre noire. Un déclanchement retient le pendule et, quand il l'abandonne, ne lui laisse faire qu'une seule oscillation; ce mouvement donne un déplacement vertical, proportionnel au temps, tandis que le miroir *m*, sous l'action du courant, donne un déplacement horizontal.

Pour l'observation directe, le miroir oscillant M est commandé par une came tracée de façon à ce que l'un des mouvements soit uniforme et l'autre, le retour, très rapide; on augmente ainsi la course utile du miroir et on élimine le retour qui est très gênant; cette élimination est encore plus complète en employant un écran commandé par la came. Ici, encore, le synchronisme du miroir M et du courant à mesurer permet la superposition des images et facilite leur observation.

Quand on projette les courbes sur un écran, il faut éclairer fortement le miroir au moyen d'un arc à *courant continu*, devant lequel se trouve un diaphragme percé d'un petit trou; en projetant l'image du cratère positif sur le miroir *m*, on est sûr d'avoir l'éclairement maximum. L'emploi du courant continu est nécessaire, car l'arc alternatif s'éteint pendant le changement de sens

du courant, ce qui empêche l'observation à ce moment. Le miroir M peut faire un angle quelconque avec *m*, il n'est pas nécessaire qu'il soit à 45°; il est même préférable, quand on le peut, de s'approcher du parallélisme, les images sont moins déformées.

Le réglage du rhéographe est des plus simples, il se fait en observant l'établissement et la rupture d'un courant continu dans le circuit primaire de A. Une roue de Masson, ou un interrupteur quelconque, mû synchroniquement avec le miroir, établit et rompt successivement le circuit. Le courant observé doit évidemment avoir la forme de la courbe I (fig. 7) : en *ab*, la période d'établissement ; en *bc*, le courant permanent établi, la courbe est parallèle à l'axe des temps ; en *cd*, la rupture, si l'interruption est suffisamment rapide, cette partie est verticale ; enfin en *de*, le courant est nul, la courbe trace l'axe des temps.

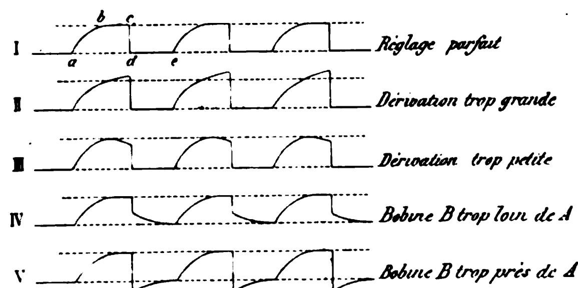


Fig. 7. — Réglage du rhéographe.

Le premier réglage porte sur la dérivation. Si le courant dérivé est trop intense (fig. 7, II), la courbe continue à monter après le point *b*; au contraire, si la dérivation est trop petite, la courbe descend de *b* en *c* ; le réglage est parfait quand *b c* est parallèle à *a d*.

La compensation du terme en $\frac{d\alpha}{dt}$ se fait en observant la rupture du circuit. Si la distance entre les bobines A et B est trop grande (fig. 7, IV) le coefficient A′ est trop faible, l'amortissement est prépondérant et la courbe ne tombe pas immédiatement à o ; après une descente brusque, elle regagne lentement le point *e*. Quand B est trop près de A, le courant induit $A' \frac{d\alpha}{dt}$ est trop fort, la courbe dépasse brusquement l'axe des temps pour y revenir ensuite lentement.

On peut faire varier la sensibilité de l'instrument, soit en enroulant le circuit primaire de la bobine A avec plusieurs fils séparés, que l'on réunit ensuite en nombre variable, en série, selon l'intensité à mesurer ; on peut aussi faire varier le champ dans le rhéographe, en agissant sur le courant d'excitation de l'électro, mais ce moyen augmente l'importance relative des deux facteurs de correction.

En donnant à la bobine A un nombre de tours suffisant, et en ajoutant, en série avec elle, des résistances sans induction, on peut réaliser un système ayant une constante de temps assez faible pour servir comme voltmètre ; l'exactitude est forcément moins rigoureuse que dans le cas de l'ampèremètre. M. Blondel obtient le même résultat en enroulant directement la bobine de son oscillographe avec du fil plus fin.

DIFFÉRENCE DE PHASE

La différence de phase entre la force électromotrice et l'intensité d'un courant alternatif a été définie comme l'angle φ qui existe entre le passage au zéro de ces deux valeurs ; la variation étant de même signe à ce moment. Cette définition, exacte et simple dans le cas de courants parfaitement sinusoïdaux, n'a plus de sens quand la loi du courant est complexe, et, surtout, quand la courbe de force électromotrice diffère de la courbe d'intensité ; ce qui arrive fréquemment.

On donne souvent ce nom d'angle de phase au terme φ dont le cosinus représente le *facteur de puissance*, c'est-à-dire le coefficient par lequel il faut multiplier les valeurs efficaces de E et I, pour obtenir la puissance réelle :

$$P = E_{eff} I_{eff} \cos \varphi$$

On a souvent besoin de connaître la différence de phase entre deux courants distincts : courants primaire et secondaire d'un trans-

formateur, courants fournis par deux machines séparées. Quand la forme de ces courants est la même, l'angle de phase a une signification précise; dans le cas contraire il est assez difficile de donner une définition exacte.

Le meilleur moyen de connaître la différence de phase de courants non sinusoïdaux consiste à relever, simultanément, les courbes des deux courants, par l'une quelconque des méthodes précédentes; un réglage préalable, facile à faire, ayant amené les origines des courbes à correspondre exactement au même instant et non à la même phase.

Pour les courants sinusoïdaux, ou très voisins, on emploie souvent la méthode de Blakesley. Chacun des courants traverse un électrodynamomètre, de sensibilité appropriée, puis, ensuite, une seule des bobines d'un troisième électrodynamomètre. Les deux premiers instruments donnent, chacun, la valeur efficace du courant qui les traverse; le troisième donne :

$$I_{eff} I'_{eff} \cos\varphi,$$

il est facile d'en déduire cos φ et, par conséquent, φ.

H. Armagnat.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Nouvelle lampe Bardon à potentiel constant pour courants continus et alternatifs. Type à frein, 1897.

L'organe principal de cette lampe, dont la figure 1 représente l'ensemble, est un double solénoïde composé des bobines B (fig. 2) enroulées en fil fin et branchées en dérivation aux bornes de la lampe et dans lesquelles, sous l'action du courant, pénètrent plus ou moins deux noyaux en fer doux N.

Une tige relie ces noyaux au point *m* du levier L L' articulé en O; sur ce même levier, est fixée en *t* la bielle T qui commande le levier frein EF, articulé au point O et chargé d'une masse pesante M. Ce levier est percé d'un trou en F dans lequel se meut l'extrémité de la bielle T. Une butée *b* ne prend contact avec le frein EF que lorsque la bielle T a déjà effectué une partie de sa course, ménageant avant ce déplacement un espace libre sous le point F.

Le volant V placé sous le frein est calé par ce dernier, et porte en son centre un moyeu à gorge C. Une cordelette de soie reliée à l'extrémité L du levier LL', embrasse le galet *g* solidaire du porte-charbon inférieur passe sur la poulie de renvoi P, sur le moyeu C, remonte sur la poulie P', passe sous le galet *g'* solidaire du porte-charbon supérieur et finalement vient s'attacher à la platine supérieure de la lampe.

Le porte-charbon supérieur S est suffisamment pesant pour assurer le défilage de la lampe, lorsque le levier frein EF abandonne le volant V.

Allumage. — Au repos, les charbons sont écartés; lorsque l'on ferme le circuit sur la lampe, le voltage est maximum entre ses bornes. Les noyaux sont attirés par les bobines, le levier LL' oscille autour de l'axe O et soulève le frein EF, qui abandonne le volant et laisse défiler la lampe. Les charbons viennent au contact, mais à ce moment, la différence de potentiel devient nulle aux bornes de la lampe et l'action du solénoïde est supprimée.

Le poids du porte-charbon inférieur devient prépondérant et fait basculer le levier L L', le frein reprend contact avec le volant et l'immobilise, tandis que le levier L L', continuant son oscillation, laisse descendre le porte-charbon inférieur et l'arc se produit.

Réglage. — Les charbons s'usant, l'arc

***

grandit, la différence de potentiel augmente, les bobines deviennent plus puissantes et attirent graduellement les noyaux; par l'intermédiaire du levier LL', la bielle T remonte en rapprochant le charbon négatif jusqu'au moment où, rencontrant le frein EF, la butée *b* tend à le soulever; la pression

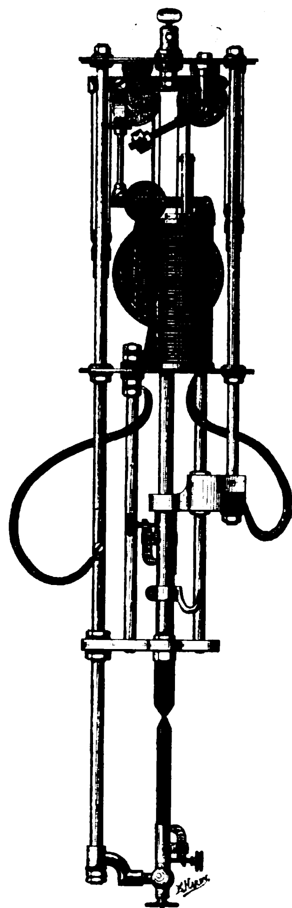


Fig. 1. — Lampe Bardon.

du frein sur le volant diminue; sous l'action du poids du porte-charbon supérieur, la lampe défile doucement, les charbons se rapprochent.

Recul. — Si par suite d'un accident le voltage venait à baisser aux bornes de la lampe, c'est-à-dire si une cause quelconque tendait à provoquer un rapprochement anormal des charbons, la différence de potentiel diminuant, les bobines abandonnent les noyaux et l'espace ménagé entre la butée *b* et le levier EF permet un mouvement de recul qui rétablit l'écart des charbons à leur valeur normale. Les charbons s'usant à nouveau les noyaux reprennent leur action prépondérante, la bielle T remonte jusqu'au contact de la butée *b* avec le frein et le rapprochement des

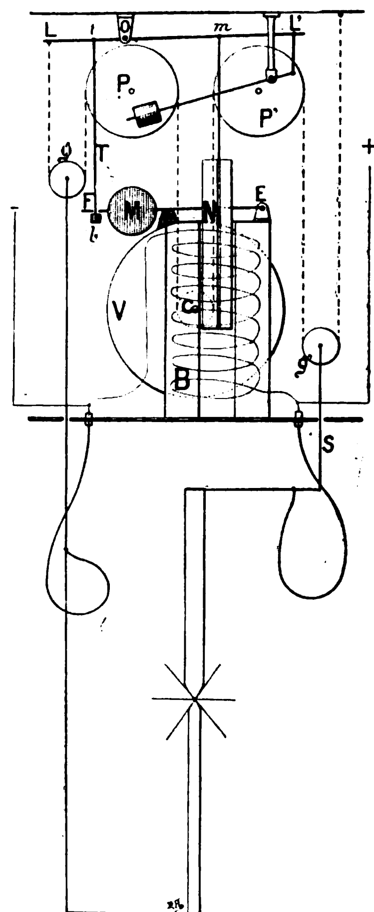


Fig. 2. — Lampe Bardon. Schéma des connexions.

charbons continue dans des conditions normales.

Bobine de self-induction. — Le circuit sur lequel sont montées les lampes alternatives est réglé par une bobine de self-induction qui a pour but d'empêcher le courant de prendre une trop grande valeur au moment où les charbons arrivent au contact, juste avant que l'arc ne se forme, et de maintenir une tension constante aux bornes des lampes. Elle

remplace le rhéostat employé avec les lampes à arc continu, mais présente sur ce dernier l'avantage de ne dépenser qu'une très faible quantité d'énergie électrique.

La bobine de self-induction construite par M. Bardon (fig. 3) se compose de deux noyaux

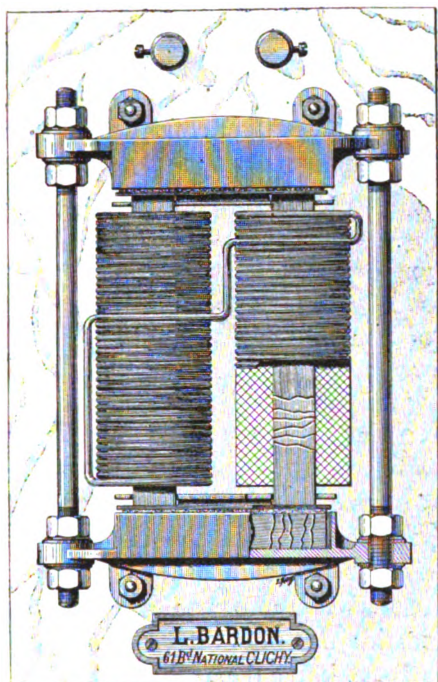


Fig. 3. — Bobine de self-induction.

en fer lamellé formant, avec les deux culasses également en fer lamellé, un circuit magnétique fermé.

Le fil, de diamètre approprié à l'intensité normale des lampes, est bobiné sur les noyaux comme le montre la figure 3. Il est le siège de forces électromotrices de self-induction qui, se composant géométriquement avec la tension de la distribution, donne une différence de potentiel résultante qui maintient le courant constant.

En effet, si le courant tend à augmenter ou à diminuer, les forces électromotrices dont la bobine est le siège varient dans le même sens et s'opposent au changement de valeur du courant, qui reste toujours très sensiblement constant même quand l'arc varie un peu de longueur.

Le réglage de la bobine est approximativement obtenu à l'atelier par construction d'après la section des noyaux de fer et le nombre de spires enroulées autour d'eux.

L'ajustement nécessaire pour chaque circuit s'effectue en faisant varier l'entrefer du circuit magnétique. A cet effet les culasses, maintenues dans des carcasses en fonte, peuvent être éloignées ou rapprochées des noyaux.

Afin d'assurer l'invariabilité de leur position, et par suite du réglage, on introduit entre les noyaux et les culasses des cales en carton d'amiante, puis on serre le tout au moyen des boulons et des tirants visibles sur le dessin. Un serrage à bloc a l'avantage d'empêcher le ronflement de la bobine, dont le montage sur marbre offre toutes les garanties de solidité et de sécurité.

L'enroulement des bobines de lampes et des bobines de self-induction subissent nécessairement de légères modifications lorsqu'il s'agit de les faire fonctionner à des fréquences différentes.

C'est ainsi que le fil des bobines dérivées est plus gros et a moins de spires sur une lampe destinée à marcher à 80 périodes que sur une lampe construite pour la fréquence de 40.

L. B.

Câble téléphonique sous-marin à chambre d'air (1).

A l'occasion de l'établissement d'une ligne téléphonique entre Southampton et Newport (île de Wight) on a posé et essayé dernièrement un câble téléphonique sous-marin d'un nouveau genre, long de 1,94 mile entre Beaulieu (Hampshire) et Gurnard Bay (île de Wight).

Ce câble, dont la section est représentée par la figure 1, comprend quatre faisceaux A de fils de cuivre entre lesquels se trouve une chambre à air longitudinale B, divisée en compartiments par des parois transversales qui renforcent le câble. Cette disposition a

(1) *The Electrician*, t. XXXIX, p. 402, 23 juillet 1897.

pour but de diminuer la capacité des conducteurs, capacité d'autant plus faible que la constante diélectrique du corps intermédiaire est plus petite, et par conséquent d'augmenter la qualité téléphonique du câble, laquelle dépend de la qualité $\frac{L}{CR^2}$ comme le rappelait récemment M. Brylinski dans ce journal [1]. Les essais faits avant la pose ont montré que malgré la présence de cette chambre à air la résistance du câble à la pression est satisfaisante ; avec une pression d'environ 50 kg par centimètre carré appliquée pendant un temps très long (qui n'est pas spécifié), on n'a observé ni déformation de la gutta, ni infiltration appréciable de l'eau ; de plus ni l'isolation ni la capacité n'ont été modifiées.

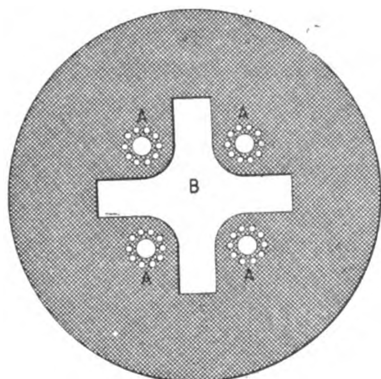


Fig. 1. — Câble téléphonique sous-marin à chambre d'air.

Les faisceaux conducteurs du câble, sont comme dans les câbles téléphoniques actuels, tordus en hélice à raison d'un tour par 20 cm. Le poids de ces fils est de 460 kg par mile, celui de la gutta est le même ; la résistance est de 5,163 ohms par mile, la capacité de 0,098 microfarad mesurée entre les fils diagonaux.

Dans les essais qui ont été faits après la pose, on a mesuré la capacité des fils diagonaux, d'abord en reliant ensemble les extrémités des deux autres fils, puis en mettant ces extrémités à la terre, enfin en les maintenant isolées ; la capacité trouvée était la même dans les trois cas. On s'est également assuré que les effets d'induction n'étaient pas à craindre : pour cela l'une des paires de fils servant de circuit téléphonique fermé, on lançait dans l'autre paire, formant aussi un circuit fermé, un puissant courant alternatif ; aucune perturbation ne s'est produite dans le circuit téléphonique.

Ce câble, dont la fabrication paraît assez délicate, a été construit par la Construction and Maintenance Company d'après les brevets de MM. Willoughby Smith et W. P. Granville.

Sur les câbles téléphoniques sous-marins ;

Par A. Barbarat [1].

Le dernier numéro des *Annales télégraphiques* reproduit la communication faite l'an dernier par M. W.-H. Preece au meeting de Liverpool de l'Association britannique pour l'avancement des sciences [2]. Cette communication est suivie d'une note de M. Barbarat sur une question des plus intéressantes, déjà étudiée dans ce journal par M. Brylinski [3], et que M. Preece formule ainsi :

Dans l'état actuel de nos connaissances et avec les matériaux dont nous disposons, quelle est la meilleure forme à donner à un câble pour arriver à la téléphonie sous-marine à grande distance ?

D'après M. Preece, on doit :

1° Adopter, dans les câbles à conducteurs multiples, des circuits à double conducteur disposés de manière à éviter toute induction.

(1) Brylinski. Sur la difficulté de réaliser un câble téléphonique sous-marin, *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 14 et 66, 2 et 9 janvier 1897.

(1) *Annales télégraphiques*, 3e série, t. XXIII, p. 161-165, mars-avril 1897.

(2) Cette communication ne tardera pas à être analysée et discutée par notre collaborateur M. Hess, que l'état de sa santé a forcé à interrompre la suite de ses articles sur les travaux de l'Association britannique.

(3) Brylinski. Sur la difficulté de réaliser un câble téléphonique sous-marin, *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 14 et 66, 2 et 9 janvier 1897.

2° S'efforcer de diminuer le plus possible, dans la construction du câble, la résistance et la capacité.

3° Compenser la capacité électrostatique par la self-induction en augmentant cette dernière, jusqu'à ce qu'il y ait compensation, par le rapprochement des deux conducteurs d'un même circuit.

M. Preece propose en outre un modèle de câble répondant à ces conditions. Dans ce modèle chaque conducteur est composé de 3 fils de cuivre, l'un de 2 mm de diamètre, les deux autres de 1 mm de diamètre, disposés les uns à côté des autres dans un même plan, le plus gros au milieu, de manière à constituer un conducteur aplati, se rapprochant de la forme d'un ruban épaissi en son milieu; un conducteur à 3 fils est séparé de l'autre, constitué de la même manière et formant retour, par une distance d'au plus 2 mm pour satisfaire à la 3e condition; enfin, pour diminuer la capacité, l'isolation est obtenue par du papier avec espaces d'air. Le diamètre total de l'âme de ce câble est de 14,5 mm; la résistance kilométrique de l'ensemble des conducteurs est de 7,3 ohms, ce qui correspond a une boucle formée de deux fils de 2,5 mm de diamètre environ.

Sur le premier point M. Barbarat est d'accord avec M. Preece : l'emploi du double conducteur est en effet la seule manière de se mettre à l'abri des perturbations extérieures, et l'administration française a adopté cette disposition pour tous ses câbles souterrains, même pour les câbles télégraphiques qui sont tous actuellement fabriqués par paires.

La seconde condition énoncée par M. Preece a pour but de diminuer la constante de temps CR et est conforme à la théorie de la propagation exposée par M. Vaschy. M. Barbarat s'y rallie donc, mais il n'admet pas le moyen préconisé par M. Preece pour diminuer la capacité : l'emploi de papier avec espaces d'air. Il ne peut, dit-il, y avoir d'air dans un câble sous-marin dont les différentes sections seront soumises à des pressions variant de o à 300 kg par cm² pour des fonds de 300 m [1]. Néanmoins, pour diminuer la capacité, il y aurait intérêt à employer une matière ayant une capacité inductive plus faible que la gutta. Le papier, ou plus généralement la cellulose, ayant un coefficient deux fois plus faibles que la gutta, son emploi serait justifié, mais il est indispensable qu'il soit incompressible.

Sur le troisième point, il y a désaccord complet entre M. Barbarat et M. Preece. D'après ce dernier, « si les deux fils de la boucle sont très distants l'un de l'autre, l'influence de l'induction mutuelle sera beaucoup moindre que celle de la capacité. Au fur et à mesure que ces deux fils se rapprocheront l'induction électromagnétique devra s'accroître plus rapidement que l'induction électrostatique jusqu'à ce que enfin, à la limite où les deux taux d'accroissement coïncident, une induction neutralise exactement l'autre ».

Or, ajoute M. Barbarat d'après la théorie [2] et conformément aux quelques essais qui ont été faits, la self-induction diminue avec la distance des fils de la boucle et par la substitution de conducteurs plats aux conducteurs cylindriques. Par contre la capacité augmente. De sorte qu'en partant d'une distance déterminée des deux fils d'un circuit en boucle, on augmente les conditions défavorables en rapprochant les fils et en leur donnant une forme aplatie; car la self-induction diminue et la capacité augmente et, par suite, les effets opposés se neutralisent de moins en moins. Si on se décidait à faire un essai, il faudrait donc, ajoute M. Barbarat, faire l'inverse de ce que préconise M. Preece.

En terminant, M. Barbarat dit que d'après ses calculs le modèle de câble proposé par M. Preece pour l'établissement de communications téléphoniques entre l'Angleterre et l'Allemagne (400 km environ de distance), ne

(1) Faisons remarquer à ce sujet qu'on vient de poser entre Beaulieu et Gurnard Bay un câble téléphonique à espace d'air qui, d'après les chiffres publiés, supporterait une pression de 50 kg par cm² (voir plus haut, p. 355).

(2) MAXWELL. *Traité d'électricité et de magnétisme*, t. II, § 688.

pourrait remplir ce but avec les appareils téléphoniques actuels. Il estime cependant qu'il conviendrait fort bien pour les communications télégraphiques et pour cette raison il conclut comme le faisait M. Brylinski dans l'article cité plus haut où il proposait un autre modèle de câble téléphonique : Pourquoi n'essaierait-on pas ? Si on ne réussit pas pour la téléphonie, on aura du moins amélioré les transmissions télégraphiques, sans compter que l'on aura de nouvelles données expérimentales, qui sans doute permettront de faire faire un nouveau pas à la question.

J. R.

Un nouveau perfectionnement du secohmètre Ayrton et Perry ;

Par H.-N. Allen [1].

Dans cet article M. H.-N. Allen signale un nouveau perfectionnement apporté au commutateur double ou secohmètre, imaginé il y a quelques années par MM. Ayrton et Perry, pour transformer en déviation permanente la déviation balistique du galvanomètre employé dans la mesure des coefficients d'induction. On s'était aperçu que, dans l'application de la méthode de comparaison directe pour la mesure des coefficients de self-induction, méthode dans laquelle cependant — ainsi qu'on l'a fait ressortir naguère dans *L'Éclairage Électrique* [2] — l'emploi du secohmètre est parfaitement légitime, quelle que soit sa vitesse de rotation, les appareils des types les plus récents, malgré les diverses améliorations apportées à leur construction, étaient loin de donner autant de satisfaction que les appareils du type original. Les erreurs atteignaient jusqu'à 4 p. 100. En soumettant l'appareil défectueux à une investigation soigneuse, on s'aperçut que l'aiguille du galvanomètre était déviée par la rotation du secohmètre, même quand la pile n'était pas réunie au circuit. La rotation du commutateur lui-même engendrait donc une force électromotrice perturbatrice.

Le commutateur se composait de secteurs de cuivre disposés à la périphérie d'un disque en ébonite mobile, sur lequel frottaient des balais de contact. Les secteurs étaient séparés l'un de l'autre par des pièces d'ébonite, sur lesquelles frottaient les balais en passant d'un secteur à l'autre. Cette circonstance permettait de supposer la production d'électricité statique due au frottement du cuivre sur l'ébonite ; d'autant plus que dans les appareils du type primitif, les secteurs successifs étaient simplement séparés par des intervalles d'air. On modifia donc l'appareil, en remplaçant les séparations en ébonite par des pièces métalliques, isolées d'ailleurs des secteurs voisins par de courts intervalles d'air, de façon que les balais ne fussent pas trop fortement secoués pendant la rotation du disque. Dès cet instant, toute perburbation disparut. Une série de huit observations, faites sur un coefficient de self-induction de même ordre de grandeur que précédemment, fournit des résultats dont le plus grand et le plus petit ne différaient pas de plus de plus de 1 p. 100 — en négligeant une observation presque certainement entachée d'une erreur due à ce que l'appareil n'était pas absolument propre. Il est donc préférable, en ce qui concerne le mode de séparation des secteurs, de revenir à la lame d'air employée à l'origine.

M. Allen recommande tout spécialement de maintenir les contacts frottants dans un parfait état de propreté : il faut les nettoyer fréquemment au moyen d'huile de paraffine, que l'on enlève ensuite, pendant la rotation, au moyen d'un morceau de papier ou d'un chiffon. Pour le nettoyage des balais, le mieux est de faire passer entre ceux-ci et les secteurs une bande de papier.

A la demande de M. Ayrton, M. Allen a fait des essais comparatifs sur la méthode de

---

[1] *The Electrician* du 16 juillet.

[2] Voir Oscar Colard. L'emploi du secohmètre dans les mesures de coefficients de self-induction. *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 337 ; 20 février 1897.

comparaison directe, avec adjonction du secohmètre, et sur la méthode de lord Rayleigh. Au point de vue de la rapidité des opérations, celle-ci s'est montrée de beaucoup inférieure à la première. Elle exige en effet un étalonnage très soigné du galvanomètre, dont on doit déterminer la constante pour les diverses grandeurs de déviation, ainsi que la loi d'amortissement des oscillations; le galvanomètre doit être aussi peu amorti que possible, ce qui entraîne des pertes de temps notables après chaque lecture; l'échauffement des résistances vient encore compliquer les opérations. Dans la méthode directe, au contraire, on peut employer un galvanomètre presque apériodique; il est inutile de l'étalonner, puisqu'il s'agit d'une réduction à zéro; enfin, la rapidité avec laquelle peuvent se faire les observations réduit au minimum l'inconvénient résultant de l'échauffement des résistances.

Naturellement, quand on les applique avec toutes les précautions voulues, les deux méthodes peuvent donner des résultats qui sont pratiquement de même exactitude.

O. Cd.

Récepteur Ader pour câble télégraphique sous-marin.

La coupe verticale de ce récepteur a été donnée dans le dernier numéro de ce journal; la figure ci-dessous en donne une coupe horizontale. On voit en N et S les deux pôles du puissant aimant horizontal, en K et L les deux pièces polaires amovibles, en U la lampe qui impressionne le papier photographique passant dans le tube horizontal EE' et sortant en D après avoir passé dans quatre récipients où s'effectuent le développement, le fixage et le lavage.

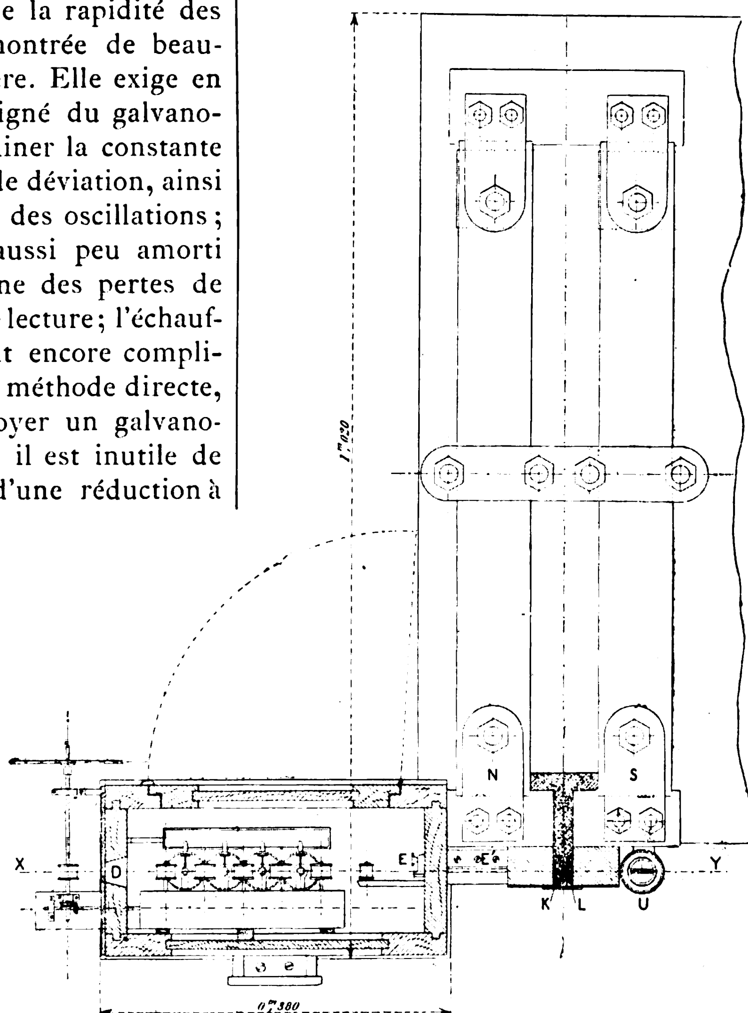


Fig. 1. — Coupe horizontale du récepteur Ader pour câble télégraphique sous-marin.

Dynamo pour distribution à trois fils;

Par de Kando [1].

Le dispositif de M. de Kando est applicable aux génératrices à courant continu faites pour donner en même temps du courant triphasé. Il consiste à réunir le fil neutre de la distribution à trois fils au point neutre d'un

[1] Voir *The Electrician* du 23 avril 1897 : Recent developements in alternate-current Machinery, with special reference to the Ganz System, par A. Dubsky.

appareil quelconque alimenté par le courant triphasé. Le point neutre est en effet au potentiel zéro, tandis que l'un balai est au potentiel maximum des courants triphasés et l'autre au potentiel minimum.

Lorsque la distribution mixte d'éclairage à courant continu et d'énergie à courants triphasés ne comporte pas de moteurs ou de transformateurs dans le voisinage des endroits éclairés, on peut employer une bobine de self-induction.

Comme le potentiel du point neutre n'est

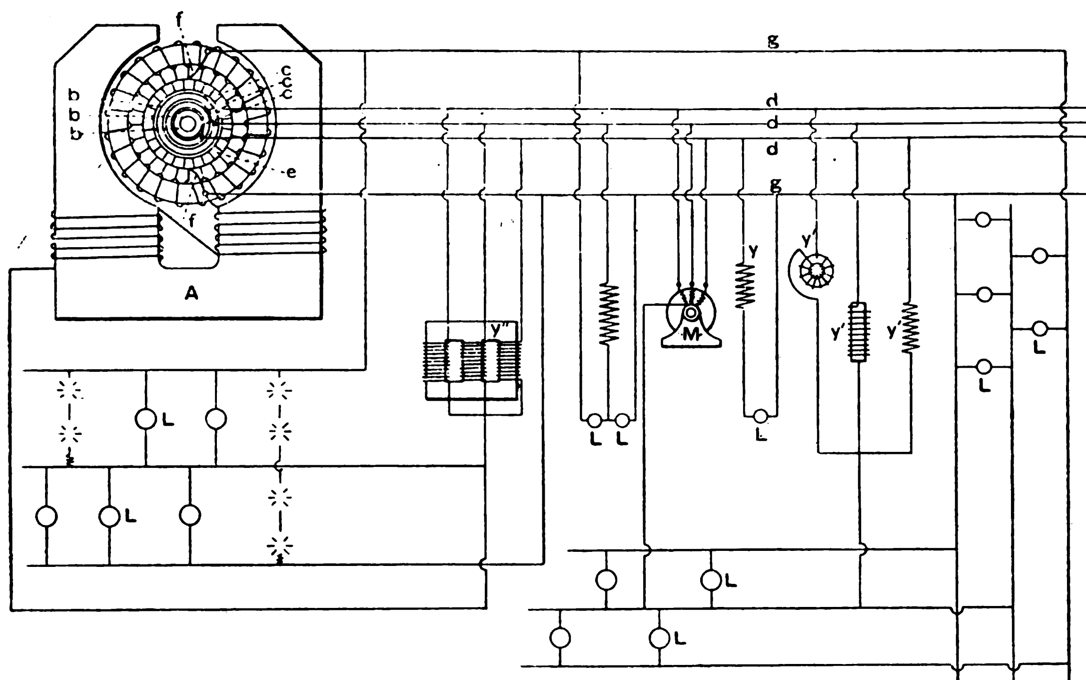


Fig. 1. — Dynamo de Kando pour distribution à 3 fils.

pas influencé par la valeur des courants triphasés, et conserve toujours sa valeur zéro il en résulte que la chute de tension dans le fil compensateur est indépendante de l'intensité des courants qui circulent dans les conducteurs du système triphasé ; c'est là un avantage spécial du système d'éclairage et de distribution d'énergie combiné.

La figure donne les différents genres de connexions : *g g* sont les conducteurs de la distribution à courant continu, *d d d* ceux de la distribution à courants triphasés, alimentés par la dynamo A.

Les bobines de self-induction y, y', y'', et le moteur M peuvent être employés dans les différents systèmes qui sont figurés. Dans le cas où la lampe L est en série avec la bobine de réaction y entre un conducteur de la distribution à courants triphasés et un de ceux de la distribution à courant continu, l'impédance de cette bobine doit être très grande pour éviter les fluctuations de lumière. J. R.

Sur les causes des consommations exagérées de charbon dans les stations centrales d'éclairage électrique ;

Par F.-R. Low (1).

Dans un rapport publié l'an passé et se rapportant à 181 stations centrales d'éclairage électrique, on faisait ressortir que les consommations de charbon par kilowatt-heure engendré étaient les suivantes :

Maximum.	13,750 kgr.
Moyenne.	4,200 »
Minimum.	1,015 »

(1) Rapport fait à la *National Electric Light Association*, réunion de Niagara Falls, juin 1897.

Dans l'usine du service des eaux de Chestnut-Hill, à Boston, on obtient un cheval-heure effectif pour une dépense de charbon de 0,6 kg; si l'on pouvait obtenir un rendement égal dans les usines centrales d'éclairage électrique, la dépense en charbon ne dépasserait pas 0,82 kg par kilowatt-heure; elle est de 250 à 1650 p. 100 plus élevée en pratique.

La commission des données statistiques de l'Association américaine était chargée de déterminer par des expériences directes et l'étude du fonctionnement des stations centrales en service courant quelles sont les causes de cet écart. Le rapport a été présenté par M. Low.

Il faut d'abord remarquer que l'installation de Chestnut Hill, dont le service est très régulier, comprend des machines les plus perfectionnées et munies des organes accessoires propres à diminuer les dépenses de chaleur. On ne peut prendre ces machines comme type de comparaison. Mais on peut employer et on emploie en réalité, dans bien des usines, des groupes donnant le kilowatt-heure pour une dépense de 900 ou 910 grammes de charbon, avec une consommation de vapeur de 5, 8 kg de vapeur par cheval-heure indiqué, du charbon vaporisant 10 kg d'eau à 100° par kg, et un rendement organique total du moteur et de la dynamo de 85 p. 100. On peut prendre cette consommation de 0,908 kg (2 lbs anglaises) de charbon (vaporisant 10 kg d'eau) par kilowatt-heure comme terme de comparaison.

Les plus grandes dépenses peuvent provenir des causes suivantes :

1° Diminution de rendement des chaudières en marche ralentie ou forcée;

2° Rendement organique du moteur plus faible que celui du groupe pris comme terme de comparaison ;

3° Mauvaises conditions de marche des moteurs;

4° Diminution de rendement des moteurs ne fonctionnant pas à pleine charge ;

5° Fuites;

6° Condensations;

7° Emploi d'appareils accessoires;

8° Chauffage ;

9° Qualités différentes de charbons employés.

Chaudières. — Trente essais ont été effectués sur des chaudières Babcock et Wilcox; on portait en abscisses le poids d'eau vaporisé par heure et par m^2 de surface de chauffe et en ordonnées le poids d'eau à 100° vaporisée par kg de charbon. On a reconnu ainsi que le rendement de la chaudière ne variait pas sensiblement quel que fût le régime auquel on la soumît; que la vaporisation fût de 24,5 kg ou de 8,5 kg par m^2 de surface de chauffe, les différences étaient moindres que celles qui proviennent des différences dans le chauffage, etc. Ces résultats sont confirmés par les expériences de M. W. H. Bryan sur le tirage forcé.

Les pertes qui proviennent de la nécessité où l'on se trouve de maintenir les chaudières sous pression pendant de longues heures sont aussi peu importantes.

Des essais qui ont duré, dans chaque cas, de 5 à 7 jours et qui ont porté sur des chaudières des modèles les plus différents ont prouvé qu'en pratique le poids de charbon consommé par m^2 de grille et par heure pour ce service, ni eau ni vapeur n'étant soutirées, varie entre 0,98 et 2,5 ou 3,4 kg. Le poids de charbon consommé en marche normale varie entre 55 ou 60 et 110 ou 120 kg par m^2 et par heure suivant les modèles. On voit que le poids de charbon dépensé pendant la période de repos ne sera jamais qu'une faible partie de la consommation réelle.

« Ce fut une surprise, en poursuivant ces recherches, de voir combien faible est la différence entre les résultats donnés par les chaudières pendant de longues périodes pratiques, sous des régimes très variés et en tenant compte de tout le charbon dépensé pour l'allumage, etc., et ceux qu'indiquent les essais. Dans 14 cas, le rapport de la pratique aux essais fut de 84 à 97 p. 100. Il faut

remarquer que le rendement d'un moteur n'influe que sur le poids de vapeur qu'il consomme, tandis que le rendement des chaudières influe directement sur le prix de revient de toute la vapeur consommée dans l'usine pour quelque but que ce soit. »

Moteurs. — Le professeur R. C. Carpenter [1] a donné les courbes suivantes (fig. 1),

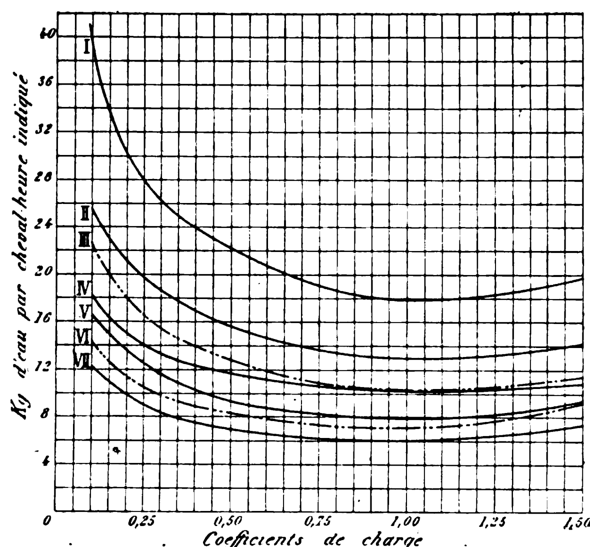


Fig. 1. — Courbes de consommation de vapeur par cheval-heure indiqué, en fonction de la charge, pour différents types de moteurs.

qui indiquent les consommations de vapeur des différents types de moteurs à des charges variables, au-dessus et au-dessous de la normale; en ordonnées sont portées les consommations de vapeur par cheval-heure indiqué et en abscisses les charges, exprimées en dixièmes de la charge normale.

Les types de moteurs à vapeur auxquels se rapportent ces courbes sont les suivants :

Courbe I. — Simple; échappement libre; régulateur de Watt; pression de vapeur 5,6 kg : cm².

Courbe II. — Simple; échappement libre; détente variable; pression de vapeur 7 kg : cm².

Courbe III. — Simple; Corliss; condensation.

Courbe IV. — Compound; détente variable; échappement libre.

Courbe V. — Compound, détente variable; condensation, pression de vapeur 8,8 kg : cm².

Courbe VI. — Compound; Corliss, condensation.

Courbe VII. — Triple expansion; pression de vapeur 10, 5 kg : cm².

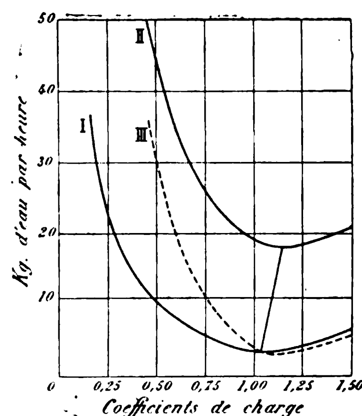


Fig. 2. — Courbes des consommations de vapeur par cheval-heure indiqué et par kilowatt-heure, en fonction du coefficient de charge.

Ces courbes indiquent la variation de dépense avec la charge, plutôt que la consommation réelle; celle-ci varie, en effet, pour un même type, avec la puissance, les détails de construction, etc.

La courbe I de la figure 2 reproduit la courbe inférieure de la figure 1. On passe aux consommations de vapeur par kilowatt-heure produit, qui sont les plus importantes

---

[1] R. C. Carpenter. The Variation in Economy of the steam Engine due to variation in Load, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. X, 1893, p. 297. Ces courbes sont représentées par une formule générale de la forme

$$y = b\sqrt{x} + p,$$

dans laquelle b et p sont des constantes déterminées expérimentalement pour chaque moteur, et x est le rapport $\frac{m}{n}$ ou $\frac{n}{m}$ de la charge normale la plus économique m, à la charge actuelle n en chevaux-heure indiqués; on prend le premier rapport $\frac{m}{n}$ si l'on a $n < m$ et le second dans le cas contraire. Les valeurs fournies par cette formule concordent bien avec celles que donne l'expérience.

à connaître en admettant que les pertes par frottements, excitation, etc., sont constantes quelle que soit la puissance fournie, c'est-à-dire que le rendement organique du moteur et de la dynamo est de 85 p. 100, et en calculant les consommations par kilowatt-heure. Pour 100 chevaux indiqués, par exemple, on dépense $100 \times 18 = 1800$ kg de vapeur et l'on obtient $100 \times 0,85 = 85$ chevaux électriques au $85 \times 0,736 = 62,56$ kilowatts-heure. La dépense par kilowatt-heure est donc de $\frac{1\,800}{62,56} = 28,77$ kg. De même à mi-charge, la dépense par cheval-heure indiqué étant de 22,25 kg, la dépense par kilowatt-heure sera égale à $\frac{22,25}{0,85 \times 0,736} = 35,57$ kg. On trace ainsi point par point la courbe II de la figure 2 qui permet de savoir quel est le régime le plus économique au point de vue de la consommation de vapeur par kilowatt-heure. Ce régime ne correspond pas à la charge normale du moteur, mais à une surcharge d'environ 10 p. 100, comme on peut s'en rendre compte sur la figure, en faisant glisser la courbe II en III au niveau de la première.

Au point de vue de la consommation exagérée de vapeur dans les stations centrales par suite des variations de charge continuelles, il faut rappeler que c'est le coefficient de charge des moteurs et non celui du matériel qu'il est important de considérer. Nous avons jadis complètement expliqué ce point ([1]).

La conclusion de l'auteur est qu'on a exagéré aussi l'importance de la marche à faible charge « Même avec le moteur le moins économique, dont la courbe très abrupte est donnée en figure 2, si les moteurs de l'usine étaient maintenus à mi-charge toute la journée, l'augmentation de dépense en vapeur ne serait que de 33 p. 100; si tous ces moteurs marchent avec une surcharge continuelle de 50 p. 100, l'accroissement de dépense ne sera que de 8 p. 100. »

([1]) G. Pellissier. L'exploitation des stations centrales. *La Lumière Électrique*, t. XLV, p. 508 et 571, 10 et 17 septembre 1892.

Ces résultats sont confirmés par les essais faits par MM. A. G. Pierce et R.-S. Hale dans les usines de la Compagnie Edison de Boston : « Dans les essais que nous avons faits, nous avons trouvé, en fin de compte, que les écarts dus à des causes que nous pensions d'abord négligeables, dépassaient de beaucoup ceux qui sont dus aux variations de charge; en fait, le poids de vapeur dépensé par cheval-heure indiqué ne variait pas de plus de 12 p. 100, avec des groupes de 200 kilowatts, lorsque le débit variait de quart de charge à pleine charge. »

Fuites. — Par contre, les fuites auraient une importance beaucoup plus grande qu'on ne le croit d'ordinaire. On n'en tient généralement pas compte et il est bien difficile de les mesurer; mais on peut se rendre compte de leur valeur par le raisonnement suivant :

Dans une usine employant des condensateurs à surface, s'il n'y avait aucune fuite, la même quantité d'eau devrait servir indéfiniment; or, en pratique, il est loin d'en être ainsi; dans une usine étudiée par l'auteur, pendant l'hiver, il fallait une alimentation constante d'eau nouvelle qui ne montait pas à moins de 900 ou 1000 kg par heure ; en été, dans la même usine, la moitié des moteurs, les deux tiers des chaudières et toute la canalisation de chauffage étant supprimés, l'alimentation atteignait encore 250 kg environ par heure; dans une autre usine, elle atteignait 1600 kg par heure environ.

Condensation. — Toute la vapeur engendrée dans les chaudières n'atteint pas les moteurs ; une partie est condensée dans les tuyauteries ; un mètre carré de tuyau condense, en moyenne, de 4 à 4,5 kg de vapeur par heure ; cette condensation peut être réduite à 1/10 de la valeur ci-dessus lorsque les tuyaux sont recouverts convenablement.

Appareils accessoires. — Tous les moteurs de faible puissance employés dans les usines : petits chevaux, pompes des condenseurs,

ventilateurs pour le tirage forcé, appareils de transport mécanique du charbon et de son chargement automatique dans les chaudières, etc., sont de « grands mangeurs de vapeur » ; certains d'entre eux consomment jusqu'à près de 90 ou 100 kg de vapeur par cheval-heure effectif. Il y aurait tout avantage, dans les stations centrales, à les remplacer par des moteurs électriques.

Chauffage. — Les bâtiments des usines sont souvent chauffés par des canalisations de vapeur parfois très étendues, alimentées soit par la vapeur d'échappement — ce qui augmente la pression à l'arrière du piston — soit directement par les chaudières. Dans un cas comme dans l'autre, la dépense qui en résulte entraîne une augmentation apparente de dépense par kilowatt-heure.

Mise en marche des moteurs. — On dépense un poids de vapeur considérable pour faire tourner le moteur avant de le mettre en charge. « Un directeur d'usine nous a affirmé qu'en tenant exactement compte de tous les frais : main-d'œuvre, vapeur, huile, etc., la mise en marche d'un grand moteur coûte plus de 15 francs. »

Tableau I

Matériel et service des usines.

N° des usines	Durée quotidienne du service en heures.	Débit moyen par jour en kilowatt-heure.	Kg d'eau vaporisée par kg de charbon.	Température de l'eau d'alimentation.	Pression de la vapeur aux chaudières en kg : cm².	Description des moteurs et de l'accouplement.	Poids d'eau dépensé dans les meilleures conditions. Par ch-h indiqué kg.	Par kilowatt-h kg.	Poids de charbon dépensé par kilowatt : h. Total kg par kw-h.	Répartition par causes de dépense. Rendement p. 100.	Moteurs p. 100.	Conversion p. 100.	Fuites p. 100.	Radiation p. 100.	Accessoires p. 100.	Chaudières p. 100.	Diverses p. 100.
1	24	13600	8	100° C	8,8	Cp. EL. AD.	11,72	17,02	3,77	24,09	20,95	0,24				19,91	34,29
2	6 à 12	1400	7,3	»	»	Divers. Co. Courroies.	11,67	17,84	2,83	32,05	27,30	3,63				26,98	70,00
3	24		3			Cp. Co. AD.	7,04		1,69	53,91	9,03		11,63			19,98	5,45
4	»	200000	7,5		11,25	TE. AD.	6,81	10,77	2,07	43,86	5,88	2,13	12,00			25,00	23,18
5	»	15600	9,96	98° C	8,8	Divers. EL. Courroies.	13,21	21,66	3,95	23,01	24,97	6,95				0,4	33,66
6	»	6500				Cp. Co. Arbre interm.	7,04		1,75	52,10	8,80	5,03		4,00			30,87
7	»	13000	6,1	82° C	9,55	Divers. EL. Courroies.	12,71	20,43	4,05	22,45	22,56	5,50				38,60	10,89
8	14 à 20 Moyenne 17	12400	6		11,25	Divers.	12,71	20,43	3,94	23,07					6,04	39,60	39,28
9	24	2700	9,83	60° C	8,45	Divers. Courroies.	12,71	24,19	3,02	30,12	30,12	21,50				1,70	17,56
10	»	3400	9,85		7,9	Divers. Courroies.	12,94	17,30	3,92	23,20	24,12	7,50				1,50	43,67
11	»	4000	5,75	100° C	8,1	Cp. Co. Arbre interm.	9,99		4,60	9,74	9,27					42,50	28,49
12	»	4300	11,36				15,58		3,38	26,85	38,22					13,60	48,53
13	12	5000				Cp. Co.	9,08		3,33	27,29	11,45					25,00	36,26
14	24	124000	9	49° C	8,1	Divers.	7,95	12,1	2,58	35,21	10,64	1,07			5,30	10,00	37,77

Abréviations : Cp = compound. EL = échappement libre ; AD = accouplement direct.
Co = condensation. TE = Triple expansion

Résultats pratiques. — L'auteur a pu se procurer des chiffres exacts relatifs à 14 stations centrales et les vérifier lui-même. Le tableau I donne la composition et la nature du service de chaque usine; dans les dernières colonnes de ce tableau, on a donné le poids de charbon dépensé par kilowatt-heure, en moyenne. Ce poids a été divisé en 100 parties, et l'on a réparti, dans les colonnes suivantes, à chaque cause de dépenses, la part qui lui incombe; la colonne « rendement » indique quelle aurait dû être la consommation proportionnelle avec un groupe parfait (0,908 kg par kilowatt-heure); dans les colonnes suivantes sont indiquées les parts proportionnelles dues au mauvais rendement des moteurs (moteurs); au moindre pouvoir calorifique des charbons employés (chaudières); aux fuites, radiations, etc.; la plupart de ces dernières conditions ne sont pas connues et sont groupées dans la dernière colonne.

Les résultats consignés dans ce rapport ne seront pas sans étonner de nombreux ingénieurs.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les surfaces équipotentielles;

Par J.-B. Pomey [1].

« De tous les problèmes qui s'offrent à l'esprit dans l'étude de l'équation de Laplace $\Delta V = 0$, celui qui est le plus souvent envisagé consiste à rechercher si les surfaces qui sont représentées par telle ou telle équation dépendant d'un paramètre variable forment bien une famille de surfaces isothermes et à déterminer dans ce cas le potentiel en fonction du paramètre. Mais il peut arriver aussi qu'au lieu de se donner l'équation en termes finis, on sache seulement que ces surfaces satisfont à une certaine équation aux dérivés partielles; on peut se poser par exemple, comme condition, que le champ électrique ait en tous les points une intensité de direction constante ou bien que cette intensité ait en tous les points la même valeur absolue (numérique).

» Pour saisir l'intérêt que peut présenter le problème ainsi posé, il suffira de se rappeler que M. Poincaré, discutant les théories de Jaumann, a eu occasion de montrer incidemment que si les lignes de force d'un champ électrostatique sont des lignes droites, les surfaces de niveau sont des sphères ou des cylindres de révolution. Je me contenterai d'aborder les problèmes les plus élémentaires.

» *Premier problème.* — Considérons le cas où le potentiel z ne dépend que des deux coordonnées rectangulaires x et y. J'appelle p, q, r, s, t, conformément à l'usage, les dérivées partielles de z du premier et du second ordre en x et y. L'équation de Laplace se réduit à $r + t = 0$.

» Si la condition que l'on s'impose est que le champ électrique satisfasse à une équation de la forme $p = \varphi(q)$, telle que, par exemple

$$p^2 + q^2 = \text{const.},$$

ou

$$\frac{p}{q} = \text{const.},$$

pour ne parler que des deux cas mentionnés ci-dessus, on aura

$$rt - s^2 = 0$$

ou en tenant compte de l'équation de Laplace,

$$r^2 + s^2 = 0$$

[1] *Annales télégraphiques*, 3e série, t. XXIII, p. 165-173, mars-avril 1897.

d'où

$$r = s = t = 0.$$

On en déduit que les surfaces de niveau sont des plans parallèles et que l'intensité du champ (p, q) a une direction et une valeur absolue constante en tous les points.

» *Autre problème.* — J'admets que l'intensité du champ varie en raison inverse de la distance à un point fixe; quelles seront alors les surfaces de niveau, toujours dans l'hypothèse d'un champ cylindrique?

» Je prends alors des coordonnées polaires, le point fixe étant l'origine. Le potentiel z sera fonction du rayon vecteur que j'appellerai x et de l'angle polaire que j'appellerai y. L'équation de Laplace devient

$$r + \frac{t}{x^2} + \frac{p}{x} = 0. \qquad (1)$$

» La condition imposée à la valeur numérique de l'intensité s'exprime par l'équation

$$p^2x^2 + q^2 = k^2. \qquad (2)$$

» J'ai à rechercher la fonction z la plus générale qui satisfasse simultanément à l'équation (1) et à l'équation (2). »

L'auteur résout ce problème successivement par trois méthodes. Dans la première il fait remarquer que l'intégration de l'équation (2) dépend du système

$$\frac{dx}{-x^2p} = \frac{dy}{-q} = \frac{dp}{xp^2} = \frac{dq}{0},$$

de sorte que l'on se trouve conduit à adjoindre à l'équation (2) l'équation $q = a$, par exemple, a étant une constante; on en déduit

$$p = \frac{\sqrt{k^2 - a^2}}{x},$$

et par suite

$$z = \int pdx + qdx = \sqrt{k^2 - a^2}\log x + ay + b. \qquad (3)$$

Si b est considéré comme une fonction de a, $\varphi(a)$, z représente l'intégrale générale de (2). Mais si, partant de cette expression, on calcule les valeurs de p, r et t et qu'on les porte dans l'équation (1), on trouve que cette dernière équation ne peut être satisfaite que si b est une constante. L'expression (3) est donc la solution du problème, pourvu que b soit une constante; en faisant z égal à une certaine valeur, elle représentera la surface équipotentielle correspondante.

La seconde méthode consiste à dériver l'équation (2) successivement par rapport à x et à y; on a ainsi

$$p^2x + px^2r + qs = 0 \qquad (5)$$
$$px^2s + qt = 0 \qquad (6)$$

et en éliminant r et s entre ces équations et l'équation (1),

$$(q^2 + p^2x^2)\,t = 0$$

d'où $t = 0$ et par suite $s = 0$, car p et q ne peuvent s'annuler simultanément. On en conclut

$$z = \varphi(x) + \psi(y) \quad \text{et} \quad \psi''(y) = 0$$

d'où

$$\psi'(y) = q = \text{const} = a$$
$$\varphi'(x) = \frac{\sqrt{k^2 - a^2}}{x}$$
$$\varphi(x) = \sqrt{k^2 - a^2}\log x + \text{const}$$
$$z = \sqrt{k^2 - a^2}\log x + ay + b.$$

Dans la troisième méthode, l'auteur s'appuie sur la formule, qu'il démontre d'ailleurs,

$$\frac{d^2V}{dn^2} - \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)\frac{dV}{dn} = 0, \qquad (7)$$

dans laquelle V est le potentiel en un point M de coordonnées x, y, z; R et R' les rayons de courbure principaux de la surface de niveau passant par ce point; dn l'élément de ligne de force. Dans le cas présent où l'on considère un système cylindrique, l'un des rayons, R' par exemple, est infini, et la valeur de l'autre est donnée, en appelant ρ la distance du point M à l'origine, par

$$\frac{1}{R} = \frac{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho'\rho''}{(\rho^2 + \rho'^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

De plus, comme la force est supposée varier en raison inverse de la distance à l'origine, on a

$$\frac{dV}{dn} = \frac{m}{\rho}.$$

On voit facilement que la relation (7) donne alors

$$\rho'^2 - \rho\rho'' = 0$$

d'où

$$\rho = \rho_0 e^{a(\omega - \omega_0)}$$

ou

$$\log \rho - a\omega + b = \text{const},$$

ω désignant l'angle polaire, appelé précédemment γ. On retombe donc bien sur la même solution.

La formule (7) permet aussi de résoudre cet autre problème relatif à un champ à trois dimensions :

Troisième problème. — Quelles sont les surfaces de niveau, lorsque l'intensité conserve la même valeur numérique en tous les points ?

On a alors $\frac{dV}{dn} = \text{const}$; donc $\frac{d^2V}{dn^2} = 0$ et par suite

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = 0.$$

Mais de ce que $\frac{dV}{dn}$ est constant, il résulte que deux surfaces de niveau voisines sont deux surfaces parallèles ; par conséquent on aura aussi

$$\frac{1}{R + dn} + \frac{1}{R' + dn} = 0$$

égalité qui n'est compatible avec la précédente que si R et R′ sont infinis simultanément. Les surfaces de niveau sont alors des plans parallèles. Donc un champ d'intensité constante a aussi la même direction en tous les points.

Effet de la pression sur la force électromotrice d'un élément à sel halogène d'argent solide et sur la résistance électrique de ce sel;

Par J.-E. Myers et F. Braun [1].

Il y a quelques années, Carey Lea démontra que quelques sels et en particulier les sels d'argent se décomposent sous l'influence de la pression [2] ; pour les sels d'argent, ces sels étaient fortement comprimés à l'abri de la lumière et le bloc comprimé était soumis aux agents chimiques employés pour le développement et le fixage des plaques photographiques : il restait un résidu noir d'argent métallique en poudre fine.

M. F. Braun, ayant observé qu'entre une lame de platine et une lame d'argent, plongées dans du brome, il se développe une force électromotrice de 0,95 volt [3], les auteurs imaginèrent de vérifier les résultats de Carey Lea pour le bromure d'argent en cherchant si la compression de ce sel entre une lame de platine et une lame d'argent donne naissance à une force électromotrice entre ces deux lames.

Le dispositif employé se compose d'un mortier cylindrique dont les parois internes sont recouvertes d'une feuille isolante de mica et dans lequel est placé le bromure d'argent pouvant être soumis, au moyen d'une presse, à une pression de 3 000 à 5 000 atmosphères ; au centre du bromure est placé un petit cylindre d'argent ; à la périphérie, contre la lame de mica est disposée une feuille cylindrique de platine ; le cylindre et la feuille sont respectivement reliés aux quadrants d'un électromètre ; la pression n'est pas mesurée exactement, mais, en prenant certaines précautions, on peut, dans des ex-

---

(1) Communication lue le 11 juin 1897 à la Physical Society, de Londres, sous le titre « On the decomposition of silver salts by pressure » et reproduite dans *Philosophical Magazine*, 5e série, t. XLIV, p. 172, août 1897.

(2) *Philosophical Magazine*, 5e série, t. XXXI, p. 323, 1891 ; t. XXXIV, p. 46 1892 ; t. XXXVI, p. 351, 1893 ; t. XXXVII, p. 31 et 470, 1894.

(3) *Wied. Ann.*, t. XVII, p. 610, 1862.

périences comparatives, amener la pression sensiblement à la même valeur.

Voici les résultats obtenus dans une expérience.

Déviation observée immédiatement après l'application de la pression.	1,2	div.
Après 2 minutes	2,8	»
» 10 »	6,8	»
» 15 »	7,2	»
» 40 »	9,2	»
» 55 »	9,0	»
» 85 »	8.7	»
» 95 »	8,2	»
» 105 »	7,0	»
Après la suppression de la pression.	5,0	»

puis la déviation tombait rapidement à zéro.

La déviation produite par un élément Daniell étant de 132,1 divisions, la force électromotrice maxima a donc été dans cette expérience de 0,07 daniell; dans une autre faite avec une pression plus élevée, elle a atteint 0,09 daniell; dans tous les cas, le platine est à un potentiel plus élevé que l'argent.

Le bromure d'argent était obtenu par précipitation de l'azotate d'argent pur par le bromure de potassium; il était desséché par un séjour de deux heures dans une étuve à 150° C.

L'azotate d'argent pur ne donne pas de force électromotrice appréciable par compression. Le bromure de potassium seul n'en donne pas non plus. Un mélange de ces deux sels en quantités équivalentes donne 0,08 daniell.

Des expériences faites avec le chlorure et l'iodure d'argent ont donné, avec le premier sel, 0,03 daniell, et avec le second, 0,04 daniell.

Les auteurs ont également remarqué que, sous l'influence de la pression, le bromure d'argent devient graduellement transparent, même sous une épaisseur de 3 à 4 mm; en même temps la résistance électrique augmente. Ainsi, dans une expérience, la résistance s'est accrue de $3{,}65.10^3$ ohms à $14{,}62.10^3$ ohms en 48 heures, pendant lesquelles la pression était maintenue sensiblement constante.

J. B.

Sur l'interférence et sur la déviation électrostatique des rayons cathodiques;

Par Jaumann [1].

« Deux plaques cathodiques, parallèles, distantes de 2 cm, sont reliées par un fil en boucle de 2,50 cm de long; le pôle négatif d'une bobine d'induction est mis en communication avec cette boucle par un contact glissant. Quand on déplace ce contact le long du fil, la surface plane, brillante et bien délimitée, résultant de l'interférence des rayons cathodiques, se déplace également sans nécessairement s'épaissir. Ce phénomène, dû à une légère différence dans la conductibilité des circuits respectifs des cathodes, ne peut s'expliquer autrement que par une *interférence* des rayons cathodiques. La surface d'interférence, qui est simple avec les rayons cathodiques faibles, peut être doublée ou bifurquée, quand on augmente l'intensité de ces rayons. Ce phénoméne peut être comparé avec la bifurcation, démontrée par E. Mach, des surfaces d'interférence des ondes sonores intenses.

» L'auteur conteste que la déviation de Goldstein soit due à une action des éléments de la cathode sur les rayons cathodiques. Cette déviation doit s'expliquer en partie par l'interférence et en partie par la déviation électrostatique des rayons cathodiques.

» Même avant la découverte de la déviation électrostatique des rayons cathodiques, il découlait de la théorie de l'auteur que les rayons cathodiques de faible intensité doivent suivre les lignes des maxima et des minima du champ électrostatique, mais qu'ils sont déviés de ces trajectoires par la force magnétique. Cette conséquence suffit pour expliquer toutes les déviations des rayons cathodiques connues jusqu'ici; elle explique le sens, tout d'abord *imprévu*, de la déviation électrostatique des rayons cathodiques, aussi bien que le déplacement du point de départ sur la cathode. L'assertion de E. Wiedemann que

[1] *Wiener Berichte*, juillet 1897.

dans la déviation électrostatique le point de départ seul est déplacé, les rayons continuant leur route rectilignement et perpendiculairement à la cathode est expérimentalement réfutée.

« L'élargissement spontané des rayons cathodiques est considéré par l'auteur comme un simple phénomène de décharge. L'étude de ce phénomène le conduisit à diverses expériences dans le but d'amener les rayons cathodiques à s'étendre jusqu'à l'anode. Des *rayons anodiques* furent obtenus, rayons qui ne sont autres que des rayons cathodiques émanant du verre de l'ampoule; au lieu de rester normaux à la paroi du verre, ces rayons se recourbent vers l'anode et se rassemblent en un étroit faisceau; les parois du verre sont à peine fluorescentes; ces rayons anodiques subissent les mêmes déviations que les rayons cathodiques. »

Chaleur dégagée par l'étincelle dans la décharge d'un condensateur;

Par W. Kaufmann [1].

La chaleur dégagée par l'étincelle est mesurée par un thermomètre à air, d'après l'augmentation de volume que provoque l'élévation de température. Ce thermomètre est constitué (fig. 1) par deux ballons de verre V_1 et V_2, le premier contenant environ 7 litres, le second environ 14, qui communiquent ensemble par un tube. Ce tube porte un robinet à trois voies A, au moyen duquel on peut mettre les deux ballons en communication soit directement, par le tube R, soit par le tube U : ce dernier, dont le diamètre est d'environ 0,25 cm, renferme une goutte de xylol, longue d'à peu près 20 mm, dont on peut lire les déplacements sur une échelle divisée. Le ballon V_2 est destiné à rendre la position de la goutte indépendante des variations barométriques, et les deux ballons sont protégés contre les variations de la température extérieure par des enveloppes de ouate. Sur le col du ballon V_1 est mastiqué un collier conique en laiton K_1, sur lequel s'ajuste le cône K_2, travaillé de manière à fermer hermétiquement. Ce couvercle porte quatre tubulures (trois seulement sont visibles sur la figure) : l'une reçoit le tube qui communique avec le second ballon V_2 (en *s* est une pièce rodée); l'autre (invisible sur la figure), un

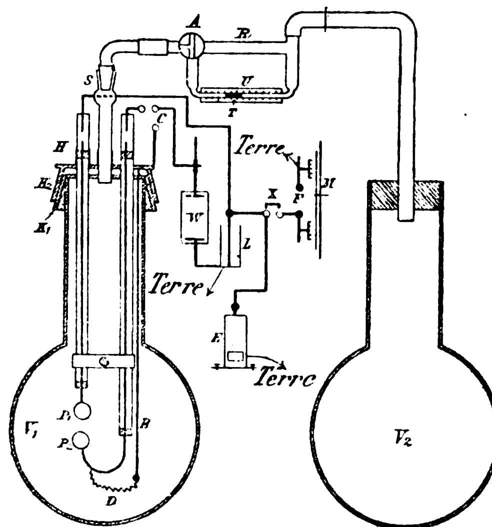


Fig. 1. — Appareil Kaufmaun pour l'étude de la chaleur dégagée par l'étincelle de décharge d'un condensateur.

tube qui débouche à l'air libre et que ferme un robinet. Dans les deux dernières se trouvent des tubes, qui pénètrent jusqu'au centre du ballon et servent de gaines aux fils de cuivre qui portent les boules P_1 et P_2 : ils sont mastiqués dans ces gaines, à 1 cm environ au-dessous de leur extrémité supérieure et le reste du tube reçoit du mercure, dans lequel plongent les fils de communication. Un troisième fil B entre dans le ballon, est en contact métallique d'une part avec K_2 et d'autre part relié à la boule P_2 par le fil de platine D long de 20 cm et ayant un diamètre de 0,004 cm.

L'électricité est fournie par la machine à influence M, dont l'un des pôles F est au sol tandis que l'autre est relié au disjoncteur X et à une batterie Z de 9 bouteilles de Leyde dont la capacité est de 0,006 microfarad.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 653-661.

L'armature extérieure de la batterie est reliée au sol ; l'autre est réunie par un fil à un électromètre de Righi E, étalonné en volts. De l'armature extérieure part un fil qui aboutit à une résistance électrolytique W, puis à un commutateur C, qui permet de le relier à la boule P^2 soit directement, soit par les fils B et D. Les divers conducteurs sont disposés de manière qu'on puisse calculer leur self-induction et par suite la durée d'oscillation de la décharge qu'il importe de connaître pour déterminer la résistance des conducteurs, en appliquant la formule de Stefan, $\frac{r'}{r} = \pi a \sqrt{\frac{n\mu}{\sigma}}$. Dans cette formule r' est la résistance pour les oscillations, r la résistance pour le courant constant, a le rayon de section du fil, n le nombre de vibrations, μ la perméabilité magnétique, σ la conductibilité spécifique [1].

Pour étalonner le thermomètre à air, on décharge la batterie par le fil D et l'étincelle P_1, P_2, la résistance W étant hors circuit. A cause de la résistance élevée du fil D, on peut admettre que dans ce cas, toute l'énergie de la décharge est transformée en chaleur dans l'air du ballon. On trouve qu'un déplacement de la goutte de 1 mm correspond à 0,00116 gr-calorie. On pourrait aussi calculer ce rapport en fonction des constantes de l'appareil ; mais le nombre trouvé n'est que la moitié du précédent, sans doute parce que le calcul ne tient pas compte des pertes de chaleur.

Entre les moyennes et les résultats isolés les écarts sont de 5 p. 100 en moyenne mais atteignent parfois jusqu'à 12 p. 100. En particulier, lorsque l'appareil a été longtemps sans fonctionner, les premières étincelles donnent un déplacement beaucoup trop grand.

Résultats. — La chaleur dégagée par l'étincelle croît avec la différence de potentiel, plus vite que l'énergie totale de la décharge : on a, à peu près $\frac{Q}{V_0^3}$ = constante au lieu de $\frac{Q}{V_0^2}$ = constante.

Elle est plus petite (0,54 : 1) entre des pôles de laiton qu'entre des pôles de zinc, toutes choses égales d'ailleurs.

D'après les expériences, la quantité de chaleur dégagée par l'étincelle peut se représenter en fonction de la résistance par les ordonnées d'une hyperbole ayant pour asymptotes l'axe des ordonnées et une parallèle à l'axe des abscisses. Si on admettait que la résistance de l'étincelle est constante, on trouverait une hyperbole ayant pour asymptotes l'axe des abscisses et une parallèle à l'axe des ordonnées. Cette dernière hypothèse ne concorde donc pas avec les faits observés.

M. L.

VARIÉTÉ

Histoire chronologique de l'électricité [2].

1801. — WOLLASTON (William-Hyde), chimiste distingué et philosophe anglais, fut l'un des plus fervents admirateurs d'Humphry Davy dont il devint par la suite le collaborateur, abandonnant la médecine qu'il exerçait pour se consacrer entièrement aux recherches scientifiques. Les résultats de cette collaboration ne se firent point attendre, car, peu de temps après, il avait l'honneur de démontrer le premier l'identité du galvanisme et de l'électricité de frottement dans un mémoire lu devant la Société royale.

Dans cette communication il montre qu'on peut décomposer l'eau aussi bien à l'aide d'étincelles obtenues par l'électricité de frot-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 433.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 321 ; 7 août 1897.

tement que par l'action de la pile voltaïque. Il montre aussi que la quantité de gaz produite en un certain temps dépendait de la surface électrisée, en contact avec l'eau. Voici comment il décrit l'expérience qui l'a conduit à ce résultat : « M'étant procuré un fil d'or très fin, je lui donnai une pointe aussi délicate qu'il me fut possible, puis je l'enfilai dans un tube capillaire dans lequel j'emprisonnai la pointe en chauffant ce dernier. Ensuite, j'usai cette extrémité en la frottant sur un corps rugueux jusqu'à ce que, à l'aide d'une loupe, je pus discerner l'extrémité de la pointe. M'étant servi de deux conducteurs disposés de cette façon, je remarquai qu'une étincelle de 3 mm éclatant entre les deux pointes pouvait décomposer l'eau, même alors que le diamètre de ces dernières n'excédait pas un sept centième de pouce (1 pouce = 2,5 cm). Je répétai l'expérience avec d'autres pointes dont le diamètre était de un quinze centième de pouce; une succession d'étincelles d'environ 1 mm de longueur provoquait dans l'eau un dégagement de bulles gazeuses. Enfin l'emploi de pointes encore plus fines donnait encore lieu à un dégagement de gaz. »

Dans une de ses lectures bakériennes [1], Davy, expliquant les expériences de Wollaston, démontre l'identité du principe d'action des deux électricités, commune et voltaïque. Cette opinion ne fut pas partagée de tous les autres savants qui s'éprirent de la question; l'un d'eux, le docteur Robert Hare, dans une note présentée à l'Academy of natural sciences ayant pour titre « Sur les objections aux théories de Franklin, Dufay et Ampère », etc., dit qu'au lieu de prouver l'identité du galvanisme avec l'électricité de friction, les expériences de Wollaston accusent une certaine discordance dans les caractéristiques et qu'en même temps elles indiquent « que les ondulations éthérées peuvent donner lieu à d'autres ondulations éthéropondérables ». Noad, lui, remarque que dans la plupart de ces ingénieuses expériences, ce n'était pas une séparation nette des éléments que l'on effectuait. Les deux gaz étaient produits aux deux pôles à la fois. Faraday fit aussi une observation analogue.

Wollaston communiqua à la Société royale une note montrant que l'oxydation est la cause primaire des phénomènes électriques obtenus dans la pile voltaïque. Il entreprit ensuite une série d'expériences sur le pouvoir oxydant du courant électrique. Dans l'une d'elles il dit : « Je fis passer le courant d'une machine statique entre deux fines pointes posées sur un morceau de carton que j'avais préalablement plongé dans de la teinture de tournesol et je m'aperçus qu'après quelques tours de roue la portion du carton occupée par la pointe positive prenait une coloration rouge parfaitement discernable à l'œil nu. Ensuite, cette teinte disparaissait et le carton reprenait sa couleur primitive dès qu'on en approchait la pointe négative. »

Il vérifia, en 1802, les lois de la double réfraction dans le spath d'Islande annoncées par Huyghens. Il fut aussi l'un des premiers qui aient étudié avec soin le spectre de la lumière électrique.

En 1815, Wollaston perfectionne les batteries voltaïques. Ayant remarqué qu'il était avantageux d'exposer les deux faces du zinc aux surfaces du cuivre, il disposa le cuivre en bandes ondulées dans lesquelles il assujettissait le zinc à l'aide de coins en liège. Il assure qu'avec une pile ainsi constituée une surface de zinc de 2,5 cm^2 suffisait pour faire rougir un fil de platine de un trois millième de pouce de diamètre, même alors que l'électrolyte fut étendu dans les proportions de 30 parties d'eau pour une d'acide sulfurique.

Il fut un expérimentateur des plus méticuleux; les théories qu'il édifiait étaient supportées par de méthodiques expériences qu'il aimait à pousser jusque dans leurs plus infimes détails. D'un naturel observateur, aimant à se rendre compte du fond des choses et doué d'une très grande habileté, il construisit des appareils de dimensions très exi-

[1] Davy's *Bakerian Lectures*, 20 novembre 1806.

guës. Il a produit du fil de platine si fin qu'il était presque imperceptible à l'œil nu : 30000 morceaux de ce fil placés côte à côte ne couvraient pas plus d'un pouce (2,5 cm) de largeur, et il fallait tordre ensemble 150 de ces fils pour atteindre l'épaisseur d'un fil de soie écrue.

Nous devons aussi à Wollaston la première idée relative à la possibilité de produire des rotations électromagnétiques. Considérant qu'un fil conducteur agit différemment selon le côté présenté à l'aimant, étant attiré d'un côté et repoussé de l'autre, et admettant que si cette influence est due à l'impulsion d'un fluide, ce fluide doit circuler continuellement autour du fil en un tourbillon dont le fil occuperait l'axe, il pensa que ce mouvement du fluide pouvait développer une rotation des parties constituantes d'un système d'aimants et de fils conducteurs. Les expériences qu'il fit à l'appui de cette hypothèse n'eurent pas de succès. C'est à Faraday qu'il était réservé de vérifier ces faits ; celui-ci fit même plus : il montra que non seulement l'aimant pouvait tourner autour d'un fil traversé par un courant, ce fil lui-même tournait autour de l'aimant (1).

Wollaston fut nommé secrétaire de la Société royale en 1806, en devint président en 1820 et publia trente-huit mémoires dans les *Philosophical Transactions* de cette Société (2). Il mourut le 22 décembre 1828.

(1) FARADAY, *Recherches expérimentales*, t. II, p. 159, 162.

(2) *Phil. Mag. or Annals*, t. V, p. 444. — Voir aussi MUNK, *The Roll Call of the Royal College of Physicians of London*, t. I, p. 424. — *Edinbourg Phil. Jour.*, t. X, p. 183. — GMELIN'S, *Chemistry*, t. I, p. 424. — DE LA RIVE, *Traité d'Électricité*, p. 444. — *Phil. Mag.*, t. XXXIII, p. 488; t. LXIII, p. 15. — J. NAPIER, *Manual of Electro-Metallurgy*, 4 th. Am. Ed., p. 492, 518. — DESBORDEAUX, *Comptes rendus*, t. XIX, p. 273. — *Le Moniteur*, n° 40; 1806. — SUC, aîné, *Galvanisme*, p. 137. — POGGENDORFF, t. II, p. 1362. — *Encyclopedia Metrop.*, t. IV, p. 180, 181, 216, 222. — *Nicholson's Journal*, t. V, p. 333. — Tho. YOUNG, *Lectures*, t. II, p. 679; London, 1807. — W. STURGEON, *Scientific Researches*, p. 29; Bury, 1850. — *Quarterly Jour. of Science*, janvier 1821. — *British Quarterly Review*, août 1846. — *Biographie générale*, t. XLVI, p. 822. — HIGHTON, *Electric Telegraph*, p. 14. — LAROUSSE, *Dict. Universel*, t. XV, p. 1370.

1802. — BRUGNATELLI (Luigi-Valentino), qui après avoir été élève de Volta, en devint un grand ami et plus tard son collègue à l'Université de Pavie, obtient pour la première fois un résultat pratique en galvanoplastie avec la pile de Volta.

Il put dorer deux grandes médailles d'argent en les mettant en communication, à l'aide d'un fil d'acier, avec le pôle négatif d'une de ses piles et en les immergeant dans une solution fraîchement préparée et notablement concentrée d'un sel d'or (1).

Il réussit à déposer une couche d'argent sur des fils de platine et observa que lorsque le courant parvenait au liquide par une électrode en cuivre ou en zinc, ces métaux se dissolvaient et se déposaient sur l'électrode négative. Spon nous dit (2) que les solutions employées par Brugnatelli étaient alcalines; il les obtenait en traitant les chlorures d'or et de platine ou l'azotate d'argent par l'ammoniaque. Brugnatelli était très sobre de détails et la plupart de ses descriptions sont entachées d'une obscurité à rendre impossible la reproduction des expériences. Mais d'après le *Journal de physique*, de van Mons, la meilleure méthode pour réduire les oxydes métalliques dissous à l'aide du courant voltaïque est de se servir de leurs solutions ammoniacales en plongeant les extrémités de deux conducteurs en platine dans la solution ammoniacale d'oxyde de mercure. On remarque au bout de peu de temps que le fil relié au pôle négatif est recouvert de fines particules de ce métal.

Barral, Chevalier et Henri ont essayé de reproduire les expériences de Brugnatelli d'après les descriptions qu'il en a données, mais ils n'ont obtenu que des résultats imparfaits, la nature du dissolvant employé par le savant italien n'étant pas connue. Toutefois il semble probable qu'après avoir dissous l'or, par exemple dans l'eau régale. Brugnatelli ne chassait pas l'excès d'acide par évapo-

(1) *Phil. Mag.*, 1805.

(2) *Dict. of Engineering*, t. II, p. 1378; Londres, 1874.

ration, mais versait la liqueur directement dans un excès d'ammoniaque, de sorte que sa solution avait une composition autre que celle supposée par les expérimentateurs cités.

Dans ses *Annali di chimica* [1], Brugnatelli publie un mémoire intitulé *Observations chimiques sur l'acide électrique;* il dit : « Les physiciens n'ont jusqu'ici abandonné une hypothèse erronée que pour en adopter une autre, en considérant la nature du fluide électrique. Quelques-uns l'ont supposé identique avec la chaleur, tandis que d'autres ont été amenés à le considérer comme un fluide calorifique modifié. Les disciples de Stahl lui attribuent la nature de leur phlogistique ou le tiennent au moins pour un fluide abondamment pourvu de ce principe. Henley conjecture qu'à l'état de repos, c'est le phlogistique, et, à l'état actif, le feu. Parmi les modernes, quelques-uns ont déclaré que c'était un acide; mais leur opinion a été vivement combattue par Gardani qui, grâce à diverses observations ingénieuses, a cherché à démontrer que l'on se trouve en présence d'un composé de calorique et d'hydrogène. »

Dans les premières expériences sur la décomposition de l'eau même chimiquement pure, par la pile voltaïque, on avait toujours constaté la présence d'un acide à l'électrode où se dégage l'oxygène, et l'apparition d'une matière alcaline à l'autre pôle [2] William Cruiskshanks a prétendu que celui-là était de l'acide azoteux résultant de la combinaison de l'oxygène avec l'azote de l'air tenu en solution par l'eau, tandis que l'alcali, disait-il, provenait de la combinaison du même élément avec l'hydrogène libéré à l'électrode négative [3]. Desormes s'efforça plus tard de montrer que les produits étaient de l'ammoniaque et des acides muriatiques [4]; mais les expériences faites par Brugnatelli avec la pile à « couronne de tasses » amenèrent celui-ci à le considérer comme un acide *sui generis* produit par la combinaison de l'un des constituants de l'eau avec l'électricité positive et il le classa comme acide *oxy-électrique*.

Brugnatelli fit ensuite plusieurs essais sur les métaux avec cet acide électrique, comme il le dénommait communément, essais qui l'amenèrent à considérer que tous les métaux, à l'exception de l'or et du platine, étaient attaqués par lui.

Il fit aussi plusieurs observations sur l'électro-déposition de l'or et du platine et écrivit de nombreux mémoires qu'il publia dans le journal qu'il avait fondé et qui furent reproduits dans de nombreuses revues scientifiques de l'époque [1].

---

[1] *Ann. di Chim.*, t. XVIII, p. 136.

[2] *Nicholson's Journal*, t. IV, p. 183.

[3] *Nicholson's Journal*, t. IV, p. 261.

[4] *Annales de Chimie*, t. XXXVII, p. 233.

[1] Pour les expériences de Brugnatelli, observations ou mémoires sur les piles, l'électricité animale, l'identité des fluides électriques et galvaniques, etc., etc , voir : *Principes*, etc., 1803. — *Grundsache des Elecktricitact*, etc., 1812. — *Annali di Chimica*, t. VII, p. 239; t. XIX, p. 77, 153, 274, 277, 280 et 281; t. XXI, p. 3, 143, etc., 239; t. XXII, p. 1, etc., 77, 92, 257, 301. — *Giornale di Chimica, Fis. e Storia Nat.* de L. et G. Brugnatelli, G. Brunacci et P. Confligiachi, t. I, p. 147, 163, 337, 353; t. IX, p. 145; t. XI, p. 130. — M. Brugnatelli et V. L. Breva, *Commontarii Medici*. — *Giornale Fis. Medico* de Brugnatelli. — *Avanzamenti della Medicina a Fisico*, t. I, p. 280, *Répétition des expériences de Galvani*, par Volta, Rezia et Brugnatelli. — G. Bianconi, *Intorno*... et *Cenni intorno*... *Galvanoplastica Nuovi Annali delle Scienze Naturali*. — *Biblioteca Italiana*, collection publiée par G. Brugnatelli, fils, avec la collaboration de Breislack, Confligiachi, Carteni, Cotena, Acorbi Direttore, Fantonelli, Fumagelli, Ferrario, Giordani, Givoni et Monti. — G.-A. Giobert, *Giov. Fis. Med.*, p. 1 à 188. Du Pré, *Ann. di Chemica*, t. IX, p. 256. — P. Mascagni, *Lettre... dans les notes de Brugnatelli*. — A. Cossa, *Notizie... elettro-chim.*, 1858. — J. Napier, *Mon. of El. Met.*, 4 th., p. 491, 492. — J.-B. van Mons, *Journal de Chimie*, t. I, p. 1, 24, 101, 216, 325; t. II, p. 106, 216; t. IV, p. 143; t. X, p. 114; t. XVI, p. 132; et t. LXXVI. — *Giornale di Fis. e Chim.*, t. I, p. 4, 28, 32, 139, 164, 338. — *Effemeridi Chim. Mediche di Milano*, t. I, p. 57; 1807. — A.-T. Gehlen, *Journal der Chemie*, t. I, p. 54, 88; t. VI, p. 116-124; t. XIII, p. 319-359. — J.-W. Gilbert, *Annalen der Physik*, t. VIII, p. 284, 299; t. XVI, p. 89, 94; t. XXIII, p. 177, 219. — *Philosophical Magazine*, t. XXI, p. 187; t. XXV, p. 57, 130; t. LIII, p. 321. — Dr Th. Thomson, *Annals of Philosophy*, t. XII, p. 228. — Al. Smee, *Elements of Electrometallurgy, History*, xxv-xxvi. — *Journal de Pharmacie*, t. III, p. 425, 426. — J. Nauche, *Journal du Galvanisme*, etc., t. II, p. 55-60. — P. Sue, aîné, *Histoire du Galvanisme*, an X, t. I, p. 305; t. II, p. 263, 316, 320, 328; 1802. — *Annales de Chimie*, février 1818.

1803. — Biot (Jean-Baptiste), qui, en 1800, à l'âge de 26 ans, fut nommé professeur de philosophie naturelle au Collège de France, et s'éleva bientôt au rang des premiers astronomes, publia un rapport sur son voyage à Laigle (Orne), où le gouvernement l'avait envoyé pour examiner les météorites tombés en abondance dans cette contrée. Les faits constatés par lui, et qui ont servi de point de départ aux investigations sur les phénomènes similaires, furent communiqués à l'Institut le 29 messidor an XI et publiés dans le *Journal des Débats* peu de temps après [1]

Le 23 août de l'année suivante (1804), Biot accompagna Gay-Lussac dans sa première ascension. Ce voyage aéronautique qui reçut, grâce aux efforts de Berthollet et Laplace, la sanction du gouvernement, était le premier entrepris dans un but uniquement scientifique.

Outre un certain nombre de baromètres, électromètres, etc., Biot et Gay-Lussac emportèrent deux boussoles et une aiguille d'inclinaison, de même qu'un autre appareil permettant de mesurer l'attraction magnétique (magnétomètre). Pour l'étude de l'électricité dans les différentes couches atmosphériques, les explorateurs s'étaient munis de fils métalliques de grande longueur, d'un petit électrophore faiblement chargé ainsi que de plaques de cuivre et de zinc devant servir à des expériences sur des grenouilles, insectes oiseaux dont ils avaient également emporté une ample provision. Le résultat de leurs recherches et expériences aux diverses altitudes, dont la plus haute dépassa 6 000 m fut lu à l'Institut le 27 août 1804 [2].

Mary Sommerville remarque [3] que, d'après les observations de Biot et de Gay-Lussac, le magnétisme n'est pas confiné à la surface de la terre, mais s'exerce à travers l'espace. La lune est aimantée par induction par suite de sa proximité de la terre et parce qu'elle tourne toujours vers celle-ci son plus grand diamètre. Le magnétisme de l'hémisphère tourné vers la terre augmente le magnétisme de notre hémisphère, et comme la force magnétique s'exerce à travers l'espace, l'induction du soleil, de la lune et des planètes doit occasionner des perturbations continuelles dans l'intensité du magnétisme terrestre, par les changements continuels de leurs positions respectives.

(1) Voir aussi le *Phil. Mag.*, t. XVI, p. 299.

(2) *Phil. Mag.*, t. XIX, p. 371.

(3) *Connection of the Physical Science*, p. 334; 1846.

En 1805, Biot publie un mémoire sur les lois qui régissent l'inclinaison et l'intensité du champ terrestre dans l'hypothèse d'un aimant situé au centre de la terre, ayant ses pôles très rapprochés l'un de l'autre et dirigés vers les points opposés de la surface du globe; comme l'a fait observer le major E. Sabine [1], le parallélisme des lignes d'égale intensité et celles d'égale inclinaison est une des conséquences bien connues de cette hypothèse [2]

Biot fut l'un des trois distingués savants, Laplace, Biot et Poisson, qui poursuivirent le plus activement les considérations du grand physicien Coulomb sur la distribution de l'électricité à la surface des surfaces sphériques. Laplace, qui étudia la distribution de l'électricité à la surface des sphéroïdes de révolution montra que la densité de la couche au pôle est à la densité à l'équateur comme le diamètre équatorial au diamètre polaire. Biot étendit cette étude aux sphéroïdes en géné-

(1) *Report of the Seventh Meeting of the Brit. Association.*

(2) *Encycl. Brit.*, t. XIV, p. 7, 63; 1857. — *Journal de Physique*, t. LIX, p. 450. — Pour les observations de Biot sur les métaux et les minéraux en général, la distribution du magnétisme dans un aimant permanent, ainsi que les perfectionnements qu'il a apportés à la méthode de Coulomb pour la construction de ces derniers, voir le dernier volume de *Britannica*, p. 23, 26, 71 et Noad's *Manual of Electricity*, p. 528, 535; Londres, 1859. — Pour les ingénieuses théories de Biot sur les aurores boréales, voir Lardner et Walker's *Manual of Elect. Magn. and Meteor.*, t. II, p. 235; Londres, 1844. — Noad, p. 232-233. — Les observations relatives aux lois qui régissent des phénomènes électromagnétiques, faites par Biot et Savart sont consignées dans le livre de Noad, p. 644-645, dans l'*Encyclopedia Metrop.*, t. IV, p. 427, et dans l'*History of the inductives Sciences*, de Whewell.

ral [1]. Il détermina de même, analytiquement, que les pertes d'électricité par décharges successives forment une progression géométrique [2].

En collaboration avec Frédéric Cuvier, Biot étudia la relation des réactions chimiques avec la production de l'électricité. Il entreprit de renouveler les expériences que W.-H. Pepy avait fait quelque temps auparavant dans le but de rechercher quels seraient les effets produits sur une pile par le milieu ambiant dans lequel elle se trouve placée. Pepy, lui, avait remarqué qu'une pile placée dans une atmosphère d'oxygène avait absorbé, pendant le cours d'une nuit, environ 3,02 litres de ce gaz, mais que, dans une atmosphère d'azote, les effets chimiques et physiologiques de l'appareil cessaient subitement.

Après de minutieux calculs sur la quantité d'oxygène absorbé pendant le fonctionnement d'une pile, Biot et Cuvier furent amenés à la conclusion que : « quoique l'oxydation fût la cause principale qui donna lieu à la production de l'électricité, son action n'était pas comparable à celle que provoquait le con tact de deux métaux, les extrémités des séries étant mises en communication avec le sol ». Un fait digne de remarque se produisit dans le cours de leurs expériences. Tant que la pile eut de l'oxygène à absorber, ses effets chimiques et physiologiques continuèrent à se manifester quoique avec une intensité décroissante. Mais ces effets disparurent totalement lorsque l'oxygène fut entièrement absorbé [3].

Dans le second volume du *Traité de Physique* de Biot, on trouve ses importantes observations sur la nature et l'origine de la lumière électrique [1]. La lumière produite par une « explosion » électrique avait été considérée pendant très longtemps comme une modification du principe électrique même auquel les physiciens de l'époque attribuaient le pouvoir de devenir lumineux sous un certain degré d'accumulation [2]. Biot fait observer que cette considération est erronée et dit qu'en réalité, cette lumière est simplement due à l'effet mécanique de l'explosion. De plus, il indique que l'intensité de la lumière dépend toujours du rapport qui existe entre la quantité d'électricité transmise et la résistance du milieu. Son expérience sur le thermomètre de Kinnersley a suffi à le démontrer. L'étincelle éclatant dans le cylindre rempli d'air terminant l'une des branches du thermomètre exerce sur cet air une action répulsive qui en pressant la surface du mercure force celui-ci à s'élever dans l'autre branche. Cette action n'a lieu qu'au moment de l'explosion, le mercure retombe aussitôt après. Il en conclut « que cette action prouve que le passage d'un courant dans l'air provoque la séparation des molécules qui le constituent, et que les actions mécaniques qui s'exercent entre ces molécules sont les seules causes auxquelles on puisse attribuer la production de la lumière électrique [3].

(1) *Bulletin des Sciences*, n° 51.

(2) WHEWELL, *History of the Ind. Sciences*, t. II, p. 208, 223. — NOAD'S *Manual*, p. 15. — *Eighth Britannica*, t. VIII, p. 531. Pour les expériences de Biot relatives aux attractions électriques et à la distribution de l'électricité à la surface d'un conducteur, voir le dernier volume de *Britannica*, p. 552-556, et NOAD, p. 56.

(3) *Annales de Chimie*, t. XXXIX, p. 242. — *Société Philomatique*, an IX, p. 40. — SUE, *Histoire du Galvanisme*, t. II, p. 161.

(1) Un extrait de ces observations a été publié par sir David Brewster dans *Britannica*.

(2) John FARRAR, *Elem. of Elect. Mag. and Elect. Mag.*, p. 118; 1826.

(3) Voir : *Scientific papers of the Royal Society*, t. I, p. 374-386. — BIOT, *Traité de Phys. exp. et Math.*, t. II, p. 457. — *Journal de Physique*, t. LIX, p. 315, 318. — WILKINSON, *Elements of. Galv.*, t. II, p. 38, 123, 154, 361 et ch. XVI. — HUMBOLDT, *Cosmos*, *Sur les Aéroïtes*, *la Lumière zodiacale*, etc. — NOAD, *Manual*, p. 530. — *Eighth Encycl. Brit.*, t. VIII, p. 580. — Sir H. DAVY, *Bakerian Lectures*, p. 3; Londres, 1840. — *Moniteur*, n° 40, 1806. — *Encycl. Metrop.*, t. IV, p. 7 (*Electro-Magn.*). — HARRIS, *Rudim. Magn.*, 3e partie, p. 116-117; Londres, 1852. — GAUTHEROT, A.-D., 1801. — FIGUIER, *Exposition*, etc., t. IV, p. 429; Paris, 1857. — *Lib. of Useful Knowl.* (*Electricity*), p. 64 et (*Magnetism*), p. 89. — *Soc. Philom.*, an IX, p. 45 et an XI, p. 120-129. — BECQUEREL, *Traité*, etc., t. III, p. 11; 1856. — *Phil. Mag.*, t. XVI, p. 224; t. XXI, p. 362. — *Mém. de l'Institut*, t. V; 1802. — *Annales des Mines*; (*Expériences faites par Œrsted, Arago, Ampère et Biot*); 1820.

Le fils de Biot, Édouard-Constant Biot (1803-1850), est l'auteur d'un catalogue très étendu des étoiles filantes et d'autres météores observés en Chine en vingt-quatre siècles. Ce catalogue, d'abord présenté à l'Académie en 1841, fut augmenté d'un supplément et publié à Paris en 1848 (1).

1807. — YOUNG (Thomas), célèbre savant anglais, collaborateur de Davy à l'Institution Royale et successeur de Volta comme membre correspondant de l'Académie des sciences de Paris, publie son : *Course of Lectures on Natural Philosophy and the mechanical Arts* (Conférences sur la Philosophie naturelle et les arts mécaniques), comprenant les soixante conférences qu'il fit à l'Institution Royale, et qui sont marqués du sceau d'une incontestable originalité. L'auteur d'une de ses biographies publiées dans l'*English Encyclopedia*, fait remarquer que les cours de Young embrassent un système complet de philosophie naturelle et mécanique ; tirés de sources originales, ces cours se distinguent non seulement par les minutieux détails qu'ils renferment, mais aussi par la clarté des idées que le savant a exposées. On y trouve entre autres l'explication des interférences d'après la théorie ondulatoire de la lumière, qui serait à elle seule suffisante, comme l'a fait observer sir John Herschel, pour assurer à son auteur l'immortalité. Young eut d'ailleurs des luttes sérieuses à soutenir pour défendre la nouvelle théorie qu'il venait d'émettre et il correspondait fréquemment avec Fresnel, lequel était à cette époque le seul qui partageât son opinion.

Les phénomènes qui se produisent dans les champs magnétiques électriques ont été étudiés par Young d'une manière remarquable. Il est impossible de citer dans le cadre de notre travail les nombreuses idées nouvelles qu'il a exprimées. Rappelons seulement, par exemple, qu'il insistait sur la nature électromagnétique des aurores boréales, si peu expliquées jusqu'alors (1).

(*A suivre.*)

P.-F. MOTTELAY.

— *Phil. Mag.*, t. XXII, p. 248-249. — *Comptes rendus*, t. VIII, p. 223; 1er semestre, 1839. — *Chemical News*, t. XVI; Londres, 1868. — *Atti dell'Acad. dei Nuov. Lincei Ann.*, t. XV, sess. IV; 2 mars 1862.

(1) *Academ. des Sciences. Savants étrangers*, t. X.

(1) Voir pour les *Aurores Boralis* et *Terrestrial Magnetisme* le *Catalogue* de Young, t. II, p. 440, 443, 488, 490, et *Journal Roy. Inst.*, t. I; Londres, 1807. — Dr G. PEACOCK, *Life of Thomas Young*. — Th. YOUNG, *Miscellaneous Works*; Londres, 1855. — *Memoirs ol the Life of Th. Young*; Londres, 1831. — John LEITCH, *Hieroglyphical essais and Correspondence*, t. XIII. — Arago, *Éloge Historique de Thomas Young* (*Mem. de l'Ac. Roy. des Sciences*, t. XIII, p. 57). — *Quarterly Review*, avril 1814. — TYNDALL, *Heat as a mode of motion*, p. 267-268; 1873. — *Annales de Chimie*, février 1815. — WHEWELL, *History of the Induction Sciences*, t. II, p. 92, 96, 106, 111-118.

BIBLIOGRAPHIE

Vorlesungen über die theoretische Physik von H. von Helmholtz. Bd. V: *Vorlesungen über die elektromagnetische Theorie des Lichtes.* — (Leçons sur la physique mathématique de Helmholtz. Tome V. Leçons sur la théorie électromagnétique de la lumière, recueillies par A. KÖNIG et C. RUNGE.) Un vol. in-8 de 370 p. *Voss*, éditeur, Hambourg et Leipzig, 1897.

Le présent volume renferme les leçons professées par Helmholtz pendant le semestre d'hiver 1892-1893 sur la théorie électromagnétique de la lumière. Il serait superflu de recommander un livre qui porte le nom de Helmholtz : nous voulons seulement retracer rapidement le plan de ces leçons.

Dans une courte introduction, Helmholtz rappelle les difficultés que rencontre la théorie des ondulations, quand on veut fixer les propriétés élastiques qu'il convient d'attribuer à l'éther lumineux, difficultés qui n'ont été surmontées qu'en

partie par Lord Rayleigh et par Kirchhoff. Il définit ensuite les diverses unités électriques, la polarisation électrique et la polarisation magnétique et rappelle comment Hertz a réussi à produire des vibrations électriques se propageant avec une vitesse finie.

Pénétrant dans le sujet même, la première partie étudie les propriétés générales des ondes planes se propageant dans un milieu continu, qu'elles résultent soit de vibrations longitudinales ou de vibrations transversales.

Dans la deuxième partie, Helmholtz établit les équations du champ électromagnétique, d'après Maxwell; il considère d'abord le cas où le champ ne renferme pas de conducteur, et montre comment on peut ramener ces équations à la forme : $\Delta\varphi = -4\pi F(x, y, z)$. La fonction φ définie par cette équation est le potentiel d'une matière attirante obéissant à la loi newtonienne et dont la densité en chaque point est représentée par la fonction F. Si la fonction F dépend du temps, si, par exemple, la densité est proportionnelle à la dérivée du moment magnétique par rapport au temps, φ est un potentiel vecteur. Un certain nombre de théorèmes relatifs à ces potentiels, en particulier le thénème de Green, sont d'un usage constant dans la théorie électromagnétique. Lorsque le champ électromagnétique renferme des conducteurs, il faut ajouter, dans les équations du champ, un terme aux composantes de la force électrique.

En supposant que les grandeurs cherchées ne dépendent que de l'une des coordonnées, on obtient l'équation des ondes planes : la direction des rayons est définie comme la direction dans laquelle se propage la quantité maxima d'énergie.

Dans la troisième partie, on apprend à connaître les propriétés des ondes sphériques, la relation entre les ondes sphériques électriques et les ondes sphériques magnétiques, le principe d'Huyghens et ses applications dans le cas spécial des vibrations pendulaires.

Le principe d'Huyghens nous permet ensuite d'étudier les divers cas de diffraction (4e partie); l'optique géométrique fait l'objet de la 5e partie: la polarisation et la dispersion celui de la 6e. Les équations de la dispersion s'obtiennent en tenant compte des charges électriques que possèdent les ions, sous l'action desquelles les mouvements de l'éther doivent se modifier. Signalons, à ce propos, une confusion regrettable qui s'est introduite dans la nomenclature, relativement à cette expression d'ions. Beaucoup d'auteurs, à la suite de Helmholtz, ont parlé d'ions des corps simples, ce qui n'a aucun sens ou tout au moins est en contradiction avec la notion des ions, telle qu'on l'entend en électrochimie.

L'action des mêmes charges moléculaires permet d'expliquer l'absorption et la rotation du plan de polarisation dans l'influence du champ magnétique : dans ce dernier cas, il n'est pas nécessaire de supposer, comme le fait Thomson, que le milieu servant de véhicule aux forces électrique et magnétique doive aussi éprouver une rotation; l'explication résulte de la dissymétrie des équations de Maxwell. M. L.

CHRONIQUE

Arc et étincelle. — Dans un article intitulé : Notes sur l'électricité que publie notre confrère l'*Industrie Électrique* dans son numéro du 10 juillet, M. Ch. Ed. Guillaume revient sur la question, agitée dès le début des expériences de Hertz, du passage de l'arc à l'étincelle entre les pôles d'un excitateur reliés aux pôles d'une source de courants de haute fréquence.

Il fait d'abord remarquer que la transformation d'une gerbe d'étincelles en un arc continu est nécessairement accompagnée d'une modification de l'état du gaz interposé entre les pôles de l'excitateur car un courant d'air dirigé en travers de l'excitateur fait, comme on le sait, reparaître instantanément les étincelles.

Mais quelle est cette modification qui rend ainsi le gaz conducteur? On a tout d'abord pensé que c'était tout simplement l'échauffement de l'air par le passage de la décharge; on a admis ensuite qu'il y avait arrachement de particules métalliques de l'excitateur; mais, d'une part, il n'est pas vrai que l'air simplement échauffé conduise l'électricité et, d'autre part, suivant M. Guillaume cet échauffement ne saurait expliquer les effets analogues pro-

duits par la lumière ultra-violette et les rayons X.

La question doit donc être reprise plus haut. L'étincelle, dit M. Guillaume, est un moyen brutal de constater la conductibilité d'un gaz; le phénomène lui-même apporte une perturbation considérable à l'état que l'on veut examiner, et ne saurait le définir avec exactitude. Il est bien préférable d'étudier la décharge d'un électromètre exposé à l'action du gaz transformé, comme on l'a fait maintes fois depuis la découverte des rayons X.

Voici alors ce que l'on constate (Villari, Branly, etc.) : l'air traversé par les étincelles et dirigé sur l'électromètre à l'aide d'un tube muni d'un ventilateur décharge encore l'électromètre à une certaine distance de l'étincelle. Son action indique l'absence presque complète de polarisation; elle diminue rapidement entre le passage par l'étincelle et l'arrivée sur l'électromètre. La température du gaz est sans influence entre des limites assez étendues. En revanche, le passage par un ozoniseur ramène le gaz à l'état d'un isolant parfait.

Les produits de la combustion engendrent les mêmes phénomènes : le gaz refroidi décharge l'électromètre à peu près comme le gaz chaud, mais cesse d'agir lorsqu'il a été soumis à l'effluve.

Tous ces faits et beaucoup d'autres s'expliquent le plus naturellement du monde, continue M. Guillaume, si l'on admet que le gaz, soumis à l'étincelle, est partiellement dissocié. Les atomes transportent les charges électriques le long des lignes de force du champ entourant l'électromètre; ils cherchent d'ailleurs à se recombiner et à reconstituer le gaz à l'état normal; mais cette reconstitution est beaucoup activée par l'effluve, le plus puissant moyen de synthèse chimique.

L'effet du soufflage de l'arc s'explique maintenant de lui-même : le courant d'air enlève les ions, et le gaz redevient isolant.

Il est un autre fait mentionné par M. d'Arsonval dans une note à l'Académie des Sciences. (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 183, 25 juillet 1896) et dans une récente communication à la Société internationale des électriciens (*L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 175, 17 avril 1897) et dont la cause paraît au premier abord plus cachée : on ramène l'arc à une gerbe d'étincelles, simplement en introduisant une forte induction dans le circuit primaire.

Voici ce qui semble se passer dans ce cas : en l'absence d'impédance dans le circuit, les premières étincelles jaillissant entre les pôles produisent la dissocation du gaz ambiant; alors, au bout d'un temps très court, la différence de potentiel est devenue suffisante pour que l'arc puisse se former dans le gaz devenu conducteur, et entretenu à cet état par l'arc lui-même.

Lorsque, au contraire, le circuit primaire contient une forte impédance, l'excitateur, brusquement déchargé, ne reprend que lentement une différence de potentiel suffisante pour la formation d'un arc. A ce moment, le gaz dissocié s'est en partie recombiné, en partie éloigné, et les conditions de formation de l'arc ne sont plus réalisées. Il faut que le potentiel atteigne de nouveau la valeur explosive pour que la décharge traverse l'intervalle des deux pôles. Pendant la première partie de la charge, l'impédance réduit simplement le débit ou la puissance de l'appareil. Au moment de la décharge, au contraire, elle lui rend ce qu'elle avait d'abord supprimé.

L'appareil ne saurait donc être comparé à une source de moindre puissance pour laquelle le débit serait seulement ralenti. On remarquera qu'une forte impédance du primaire laisse à l'excitateur sa période oscillatoire, qui serait modifiée par une augmentation de la capacité des condensateurs.

Association américaine pour l'Avancement des Sciences, congrès d'août 1897. — Parmi les mémoires qui devaient être présentés au congrès de l'Association américaine pour l'Avancement des Sciences qui s'est tenu à Détroit (Michigan) du 9 au 14 août, nous relevons les suivants qui intéressent particulièrement les électriciens :

Sur le rôle d'écran joué par les courants induits dans des corps magnétiques solides placés dans un champ alternatif, par Ch. P. Steinmetz.

Etude, construction et essai d'un transformateur de 1 250 watts, par Henry S. Carhart.

Action électrolytique dans un condensateur, par K.-E. Guthe.

Sur la vitessse de la lumière dans un champ magnétique, par E.-W. Marley, H.-T. Eddy et P.-C. Miller.

Cartes magnétiques de l'état de Maryland, par L.-A. Bauer.

La transmission de la chaleur radiante par les gaz à différentes pressions, par Ch.-F. Brush.

· Action de la chaleur sur la limite élastique et la résistance mécanique ultérieure des fils de cuivre, par Frank P. Whitmann et Mary C. Nayes.

Le spectre de l'arc, par Arthur L. Foley.

Sur l'éclat des surfaces colorées sous l'influence de différentes sources de lumière, par Frank P. Whitman.

Sur la décharge des corps électrisés par les rayons X, par C.-D. Child.

La conductibilité de certains spécimens de feuilles de verre relativement à l'emploi de cette substance dans les machines statiques, par Dayton C. Miller.

Etude graphique des courants alternatifs dans des circuits dérivés, en cas de fréquence variable, par H.-T. Eddy.

Sur les courants simples non alternatifs, par Alexander Macfarlane.

Appareils pour déterminer la fréquence d'un courant alternatif, par George S. Moler et Frederick Bedell.

Prédétermination de la régulation des transformateurs, par F. Bedell, R.-E. Chandler et R.-H. Sherwood.

Sur une nouvelle forme de calorimètre, par Charles L. Narton.

La station centrale à vapeur, à courant alternatif, de Bolton (Angleterre). — Poursuivant leurs intéressantes descriptions de stations centrales MM. H. Lomas et H.-C. Gunton nous fournissent aujourd'hui les détails des installations de la ville de Bolton. En voici le résumé :

Bolton est une des nombreuses villes d'Angleterre où le monopole de l'éclajrage électrique appartient aux autoritées municipales. L'installation d'une station centrale n'a donc souffert d'autres difficultés que celle d'obtenir du Local Goument Board l'autorisation de faire un emprunt d'un million de francs, autorisation qui fut d'ailleurs immédiatement accordée.

Après de minutieuses études, on s'est arrêté à une distribution à courants alternatifs à haute tension avec transformateurs à domicile : cela pour plusieurs raisons, d'abord parce que la municipalité voulait établir l'usine électrique à proximité de l'usine à gaz dans le but d'utiliser le coke produit dans cette dernière comme combustible pour la première, ensuite, vu l'éparpillement des maisons résidentielles dans les districts extérieurs de la ville, l'établissement d'une distribution à basse tension aurait nécessité une énorme quantité de cuivre et, partant, fût devenue trop onéreuse.

La station centrale est donc, pour ces raisons, adjointe à l'usine à gaz. Son équipement se compose de quatre chaudières Lancashires munies chacune de cinq tubes Galloway et d'un foyer spécial, type Meldrum, pour la combustion du coke. Ce dernier est amené directement du parc de l'usine voisine par des wagonnets et ne coûte par conséquent que les frais de transport, soit 0,60 fr par tonne. On en consomme environ 60 tonnes par semaine, outre 3 tonnes de charbon qui servent uniquement aux heures de pleine charge pour maintenir la pression. L'eau d'alimentation des chaudières constitue une des principales dépenses d'exploitation, car, n'ayant pu adopter le système à condensation faute d'une source convenable, on a dû emprunter l'eau des canalisations urbaines qui revient au prix de 1,50 fr le mètre cube.

Des générateurs, la vapeur est distribuée aux moteurs suivant le systèmes de conduite générale avec greffes allant à chacun des moteurs. L'évacuation a lieu par la cheminée de l'usine, où la vapeur se rend après avoir traversé les tubes d'un réchauffeur Berryman pour l'alimentation, et en active le tirage.

Le matériel mécanique primitif ne se composait que de trois moteurs à vapeur Wood, dont deux de 160 et un de 80 chevaux, entrainant des alternateurs Mordey-Victoria à l'aide d'une transmission par câble. Cette installation n'a pas donné tous les résultats que l'on en attendait ; aussi a-t-on décidé, pour les agrandissements, d'employer des groupes à couplages directs. Actuellement la station possède deux de ces groupes formés chacun d'un moteur vertical Hick-Hargreaves et d'un alternateur volant, type Ferranti, d'une puissance de 220 kilowatts. Ces alternateurs sont construits suivant les dispositions bien connues adoptées par ce constructeur, dispositions dont les plus caractéristiques sont la facilité d'accès à l'induit par le fait de la construction de la carcasse en deux parties mobiles sur des glissières, et enfin la disposition des bobines induites dans des étriers dont la fixation est des plus commodes et facile à régler. Les inducteurs portent 64 paires de pôles munis d'enroulements excitateurs auxquels une batterie d'accumulateurs fournit le courant nécessaire. Le rendement de l'alternateur est de 88 p. 100.

Outre les trois alternateurs Mordey-Victoria

dont il a été question plus haut et dont la puissance totale n'est que de 170 kilowats en courant à 2 000 volts, et ceux que nous venons de décrire, il y a encore, comme machines auxiliaires, deux petits groupes à couplage direct et à courant continu qui sont uniquement affectés à la batterie d'accumulateurs, et un dynamoteur Crompton pouvant être couplé au plus petit des alternateurs Mordey. Cette dernière disposition permet, en se servant du courant de la batterie, de supprimer les deux autres alternateurs dont le rendement n'est pas satisfaisant, et d'alimenter le réseau aux heures de faible charge, avec le courant du troisième et celui des deux groupes Ferranti.

Le tableau de distribution de l'usine est situé à l'une des extrémités de la salle des machines. Il comporte tous les appareils généralement usités pour le réglage des machines, la synchronisation, la charge de la batterie, etc. Les organes de la distribution proprement dite occupent deux panneaux spéciaux du tableau. Comme disposition particulière nous remarquons sur l'un des panneaux, celui où sont groupés les appareils de synchronisation, toute une série de douilles reliées par un fil de de dérivation à chacun des alternateurs, deux autres douilles semblables sont connectées à chacun des voltmètres de synchronisation. Pour opérer le couplage, on se sert de deux fils souples de faible longueur terminés à chacune de leurs extrémités par une broche que l'on enfonce, l'une dans la douille d'un des voltmètres, et l'autre dans celle d'un des alternateurs. On règle ensuite le champ de chacun de ces derniers pour amener les voltmètres aux mêmes indications. Il n'y a plus alors, dès que cette condition se trouve remplie, qu'à fermer le commutateur bipolaire.

Le système de distribution du courant comprend un réseau primaire à haute tension auquel sont reliés les feeders de la station et un réseau secondaire à basse tension établi d'après le système à trois fils. Les transformateurs reliés à ce dernier occupent des postes spéciaux dans la ville proprement dite et sont logés chez les abonnés dans les quartiers extérieurs. Toutes les canalisations sont souterraines : les feeders et les câbles du réseau primaire sont logés dans des conduites en terre ; les câbles du secondaire sont placés, soigneusement isolés, directement dans le sol.

La vente de l'énergie s'effectue depuis peu d'après le sysrème Wright, système que nos lecteurs connaissent déjà et qui d'ailleurs fera l'objet d'un prochain article dans nos colonnes. L'énergie est vendue à raison de 0,60 fr le kilowatt-heure pour la quantité d'énergie correspondant à l'allumage de toutes les lampes de l'installation pendant une heure par jour; pour l'excédent la taxe est de 0,30 fr par kilowatt-heure. De plus la compagnie fait un escompte de 10 p. 100 sur toute facture payée dans les 21 jours à partir de son émission.

L'exploitation de la station s'effectue dans de très bonnes conditions; le courant engendré revient, pris à la station, à 0,125 fr le kilowatt-heure. De nouveaux et importants agrandissements sont actuellement en perspective en vue de l'établissement d'un réseau de tramways électriques.

L'emploi de l'air liquide dans les installations électriques. — Dans un article publié par *The Electrical World* du 24 juillet (p. 99), M. Elihu Thomson développe une idée suggérée par un des lecteurs de *L'Éclairage Électrique*, M. J.-J. Taudin-Chabot (t. X, p. 334, 30 janvier 1897) : L'emploi de l'air liquide dans les installations électriques.

L'air liquide, que l'on sait aujourd'hui produire en grande quantité, présente, en effet, plusieurs qualités pour ce genre d'applications. En premier lieu il est par lui-même un excellent isolant, en second lieu, en abaissant la température des matières en contact avec lui il augmente la résistance électrique des substances naturellement isolantes tandis qu'il abaisse jusqu'à rendre presque nulle la résistance des métaux.

Dans les lignes de transmission de l'énergie électrique à grande distance son emploi serait particulièrement avantageux. Actuellement pour ne pas trop augmenter le prix de revient de la ligne, il faut consentir à une perte de 10 à 15 p. 100, perte qui, pour une puissance de 18000 chevaux comme celle qui est transmise par la station du Niagara, atteint le chiffre respectable de près de 2 000 chevaux; en refroidissant les conducteurs à la température d'ébullition de l'air liquide, la perte en ligne pourrait être réduite à 1 ou 2 p. 100. D'autre part, par suite des propriétés isolantes de l'air liquide, il serait sans doute possible d'élever le potentiel à 5000 volts au lieu de se contenter de la limite de 20000 volts considérée aujourd'hui comme un maximum; il en résulterait une nouvelle diminution de la perte en ligne ou la pos-

sibilité de réduire considérablement le diamètre des conducteurs, ou enfin d'augmenter beaucoup le rayon d'utilisation pour une même distance. A vrai dire cette diminution de la perte serait en partie compensée par la dépense d'énergie nécessaire pour produire l'air liquide, mais l'économie restante pourrait encore être considérable : la liquéfaction pouvant être opérée aux heures où la puissance de la station n'est pas entièrement absorbée par les installations électriques.

L'air liquide trouverait encore une application importante dans les transformateurs dont le rendement et la puissance se trouvent actuellement limités par la chaleur dégagée dans les conducteurs, qui a pour conséquences une augmentation de la résistance des circuits et surtout une diminution de la résistance d'isolement; de plus, on pourrait alors employer des transformateurs sans fer et éviter ainsi les pertes par hystérésis et avoir un rendement aussi bon pour les faibles charges qu'à pleine charge.

Les fours électriques pourraient également être soigneusement isolés, d'où économie de courant.

L'auteur ne se dissimule pas que la question est hérissée de difficultés et que sans doute l'emploi de l'air liquide ne pourra d'ici longtemps entrer dans la pratique. La principale difficulté consiste à trouver une substance suffisamment mauvaise conductrice de la chaleur pour enfermer l'air liquide et empêcher celui-ci de s'évaporer trop rapidement sous l'action de la chaleur apportée de l'extérieur par conductibilité, car au point de vue pratique l'emploi de l'air liquide dépend de la quantité d'énergie nécessaire pour compenser les pertes par évaporation.

L'installation des moteurs à courant alternatif. — M. E.-K. Scott cite dans *The Electrical Review*, de Londres, un exemple typique de la complication qu'entraîne l'installation des moteurs à courant alternatif.

Il s'agit d'un moteur asynchrone d'une puissance de 6 chevaux, employé à Portsmouth pour refouler l'eau de la mer dans un réservoir; la puissance réellement exigée pour le travail à accomplir actuellement est de 2,5 chevaux environ.

Le courant, engendré par la station centrale d'éclairage électrique de la ville, est transmis à la tension de 2 000 volts. L'installation comprend donc:

1° Le moteur (120 × 61 cm et 90 cm de hauteur);

2° Un transformateur de 20 kilowatts (employé aussi pour l'éclairage), qui ramène la tension à 100 volts; son poids est de 1 tonne et ses dimensions 91 × 45 × 45 cm.

3° Une résistance liquide formée par de l'eau contenue dans deux tubes en poterie, qui a pour but d'effectuer le décalage de phase nécessaire pour le démarrage; ces tubes sont munis de deux poulies à gorge et d'organe de levage; l'ensemble occupe 75 × 30 × 75 cm.

4° Les appareils de mise en circuit et de régulation (67 × 45 × 45 cm).

L'emploi d'un moteur à courant continu aurait réduit les dépenses de moitié et aurait permis de réduire dans des proportions plus grandes encore l'espace nécessaire; il aurait permis, en plus, d'adopter des appareils de mise en marche et d'arrêt automatiquement commandés par la hauteur de l'eau dans le réservoir; tandis que l'installation actuelle exige une surveillance coûteuse.

On comprend facilement que, dans ces conditions, l'emploi des moteurs électriques sur les réseaux à courant alternatif monophasé ne se développe qu'avec une sage lenteur.

Un pont tournant de 2 000 tonnes mû par l'électricité. — Les deux villes de Duluth (Minn.) et de Superior (Wir.), que sépare le fleuve le Saint-Louis non loin de l'endroit où il se jette daus le lac Supérieur, sont maintenant réunies par un magnifique pont tournant entièrement mû par l'électricité.

Ce pont mesure exactement 150 m de longueur et 17,4 m de largeur; sa hauteur prise du niveau de la culée centrale au niveau de la superstructure est de 26,4 m. Il est divisé sur sa largeur en trois parties distinctes : l'une affectée aux trains à vapeur, l'autre aux tramways électriques et la troisième aux voitures et piétons. C'est en raison de sa longueur et surtout du poids considérable de ses extrémités qu'on a été amené à employer des moteurs électriques pour son fonctionnement.

Le pivot central monté sur galets circulaires, est actionné par un moteur électrique G. E. 2000 par l'intermédiaire d'un harnais d'engrenages qui réduit la vitesse de 1 500 à 1. Les appareils de commande de ce moteur sont réunis dans une cabine située dans la superstructure et d'où le mécani-

cien peut embrasser tout le pont. Un des caractères particuliers du mécanisme de rotation est le frein. Ce dernier, un puissant frein à bandes, est mis en action par l'effet d'un lourd contrepoids qui se trouve déclanché automatiquement par un électro-aimant qu'excite le courant du moteur aussitôt le stoppage de ce dernier. Le mécanicien n'a donc pas à s'en occuper puisque la suppression du courant au moteur le met immédiatement en action.

Les deux volées de ce pont sont à extrémités rentrantes; en d'autres termes le pont comprend trois parties dont les deux extrémités peuvent glisser dans la partie médiane à la façon des tubes d'un télescope. Chacune d'elles est pourvue de deux moteurs G. E. 2 000 logés sous le tablier, commandant chacun un mécanisme indépendant pouvant effectuer la rentrée des deux extrémités soit simultanément, soit séparément. Un troisième moteur, placé également sous la volée, actionne les excentriques de levage et libère les attaches qui relient la partie fixe avec la partie mobile du pont. Ce n'est que lorsque ces conditions sont remplies que les annonciateurs électriques placés dans la cabine centrale avertissent le mécanicien qu'il peut « tourner ». La rapidité de la manœuvre est telle que deux minutes suffisent pour ouvrir le pont de 90 degrés.

Le métropolitain électrique souterrain de Londres. — D'importants travaux sont en ce moment en cours d'exécution à Londres. On construit une nouvelle voie souterraine allant de Liverpool street à Shepherd's Bush deux points situés à 10,42 km l'un de l'autre dans les quartiers les plus populeux de la ville. La traction sera purement électrique; l'énergie sera fournie par une seule station située à l'un des points terminus.

Il y aura deux voies, une pour les trains montants et l'autre pour les trains descendants. Les dispositions adoptées pour leur établissement sont les suivantes : on a d'abord creusé des puits sur six points différents du tracé du souterrain ce qui a permis d'attaquer le percement du tunnel sur quatre points simultanément. Le percement était effectué à l'aide de boucliers manœuvrés par des presses hydrauliques. Deux tubes en acier destinés à contenir chacune des voies étaient immédiatement montés côte à côte. Le diamètre intérieur de ces tubes est de 3,48 m pris dans la section uniforme à quelques distance des stations; à ces dernières les tubes sont évasés, pour faciliter l'accès des trains, jusqu'à avoir un diamètre de 6,30 m. Les stations, au nombre de 13 sans compter celles des points terminus, sont échelonnées à des distances à peu près égales sur le parcours du terrain. Pour éviter l'encombrement, on a ménagé, dans chacune d'elles quatre puits, deux ayant chacun un ascenseur montant et un descendant pour le service des voyageurs, et deux autres munis d'escaliers qui serviront en cas d'insuffisance des ascenseurs.

Ces derniers, au nombre total de 45, pourront transporter 100 voyageurs à la fois avec une vitesse de 45 m par minute. Leur construction a été confiée à la Compagnie des ascenseurs électriques Sprague, de New-York.

La pose des voies a été exécutée par la Electric Traction Company à charge par la British Thomson-Houston Company d'en compléter l'équipement électrique et de les livrer à la Central London Underground Railway Company prêtes à l'exploitation. Les rails employés sont du poids d'environ 50 kg par mètre courant. Le système de distribution de courant est celui du troisième rail comme dans les lignes américaines de Nantasket-Beach, New-York, New-Haven, etc. Il est partagé en un certain nombre de sections alimentées chacune isolément de façon à pouvoir supprimer le courant dans l'une d'elles quand il est nécessaire, sans interrompre le service sur les autres.

Le système de traction différera de celui des lignes mentionnées ci-dessus en ce qu'il sera effectué uniquement par des locomotives électriques au lieu de voitures motrices, les dimensions de ces dernières les rendant d'un usage prohibitif dans les tunnels. Ces locomotives seront d'un type spécial à quatre moteurs et sans engrenages. Les moteurs seront du type G. E. 56 et attaqueront directement chacun des quatre essieux sur lesquels ils seront montés; un seul contrôleur suffira à leur manœuvre. Leur puissance sera calculée pour fournir un effort de traction de 6 342 kg à la barre d'attelage.

Les trains de voyageurs seront formés de six voitures du poids total de 106 tonnes plus 35 tonnes environ pour la locomotive; le freinage sera assuré par des freins à air comprimé dont la puissance n'a pas besoin d'être très considérable, car avant d'arriver aux stations, les voies ont une rampe de 3 p. 100 et une descente *ad hoc* au départ. On compte d'après cette disposition réaliser une éco-

nomie de 33 p. 100 sur la dépense d'énergie requise pour l'arrêt et le démarrage des trains.

La vitesse des trains sera de 23,24 km à l'heure. Les départs auront lieu toutes les deux minutes et demie au début et seront ultérieurement ramenés à deux minutes si le trafic l'exige.

Comme système de distribution d'énergie on a adopté celui du courant triphasé à haute tension avec transformateurs statiques et convertisseurs rotatifs comme pour certaines lignes américaines déjà pourvues d'un système analogue, telles qu'à Lowell, Niagara Falls et comme à Dublin, en Écosse.

La station centrale devant produire l'énergie sera, comme il a été dit plus haut, située à l'extrémité ouest du métropolitain, à Shepherd's Bush. Sa puissance sera de 6 800 chevaux en courant triphasé dont la production se répartira entre six alternateurs d'une puissance de 850 kilowatts chacun. Ces machines, accouplées à leurs moteurs formeront autant d'unités indépendantes; elles seront du type à induit fixe et inducteur mobile et engendreront du courant à 5 000 volts, de fréquence 25 avec une vitesse de 94 tours par minute.

Du tableau de la station, les 5 100 kilowatts produits seront répartis entre quatre sous-stations équipées chacune d'un convertisseur de 900 kilowatts et de transformateurs statiques de 300 kilowatts, trois dans chacune des deux premières avec un de réserve servant pour les deux, et deux dans chacune des deux autres. Ces transformateurs seront refroidis par une circulation énergique d'air qu'établira un ventilateur.

La tension du courant, de 5 000 volts aux bornes du primaire sera réduite à 330 volts aux bornes des convertisseurs. Ces derniers seront en tous points analogues à ceux employés à Buffalo pour la transformation du courant provenant de Niagara; ils convertiront le courant alternatif à 330 volts en courant continu à 500 volts tel que l'utiliseront les locomotives électriques.

Avec ce système de distribution par sous-stations, les variations de tension seront réduites à leur minimum; on estime que les écarts ne dépasseront pas 3 volts. Par conséquent, l'éclairage des trains et du tunnel qui sera alimenté par cette même source, se maintiendra pratiquement fixe.

Malgré les dépenses énormes d'établissement de cette nouvelle ligne souterraine, l'amortissement se fera encore assez rapidement car, en admettant un trafic moyen correspondant au transport annuel de 48 000 000 de voyageurs au tarif de 0,20 fr par place, son rapport brut serait de 9 600 000 fr.

Sur la supériorité des relais télégraphiques à faible résistance. — Les bobines des relais télégraphiques américains ont une résistance de 150 ohms; l'an dernier, M. V. J. Fry communiqua à l'Association des Ingénieurs télégraphistes des Chemins de fer, les essais qu'il avait faits sur les lignes de son réseau, essais qui indiquaient que de bien meilleurs résultats pouvaient être obtenus avec des relais de 25 ohms seulement. Une commission fut nommée et des expériences systématiques furent faites dans le cours de l'année. Le rapport qui vient d'être présenté confirme entièrement les faits annoncés par M. Fry. Les lignes munies de relais de 25 ohms fonctionnent également bien par tous les temps, tandis qu'avec les relais de 150 ohms, la transmission sur certaines lignes devait être interrompue en temps humide ou orageux ; dans tous les cas, l'appareil à faible résistance donna des résultats bien supérieurs à ceux de l'appareil qu'il remplaçait. Un autre avantage de cette réduction de résistance serait une diminution du nombre d'éléments des batteries et, partant, une diminution des frais d'achat et d'entretien. Le rapport conclut en disant que les ingénieurs basaient leurs calculs sur l'ancienne loi qui voulait que la résistance combinée des instruments montés sur un fil soit égale à la résistance du fil, plus celle de la batterie, mais que cette loi ne s'applique pas aux circuits télégraphiques.

La fabrique de chlorate de potassium de Mansboe (Suède).— La chute de Mansboe qui fournit l'énergie nécessaire à la fabrication permettrait d'obtenir une puissance d'environ 5 000 chevaux ; 8 turbines de 220 chevaux à axe horizontal faisant 260 tours par minute, accouplées directement à 8 dynamos donnant 1 200 ampères sous 115 volts, constituaient le matériel générateur primitif de l'usine, prévue pour une production de 690 tonnes de chlorate de potassium par an. La production annuelle s'étant rapidement élevée à 1 300 tonnes d'autres groupes ont été successivement installés et aujourd'hui la puissance utilisée est d'environ

3 000 chevaux. L'installation complète a coûté 2 000 000 fr ; la machinerie et la construction de l'usine ont absorbé la moitié de cette somme ; l'autre moitié a été dépensée en travaux nécessités pour l'utilisation de la chute.

Le procédé de fabrication employé est dû à M. O. Karlson ; les électrodes positives sont en charbon, les négatives en fer. *Engineering*, à qui sont empruntés les renseignements précédents, ne donne aucun détail à ce sujet.

ERRATA

Dans l'article de M. Brylinski, *Sur la résistance des conducteurs en courant variable*, publié dans les numéros du 26 juin et des 10, 17 et 24 juillet, le lecteur est prié de faire les corrections suivantes :

Page 6, 1re colonne, ligne 5	*au lieu de*	où est un	*lire*	où φ est un...
» 9, 2e colonne, au dénominateur de la première expression algébrique	»	$(n + 1)$	»	$(n + 1)^2$
» 101, 1re colonne, au numérateur de la dernière expression algébrique de la note	»	α^{n+1}	»	α^{2n+1}
» 101, 2e colonne, au troisième terme sous le radical de l'égalité (48)	»	$\frac{x}{y^2}$	»	$\frac{x}{2y^2}$
» 102, 2e colonne, ligne 8 en remontant	»	avec ζ	»	avec α
» 104, 1re colonne, 2e ligne de la 3e colonne du tableau	»	2,0185	»	2,2185
» 104, 2e colonne, au dénominateur du dernier membre de la première égalité	»	25	»	2ρ
» 149, 1re colonne, ligne 7 en remontant	»	voyons une intégration	»	voyons *par* une intégration
» 149, 2e colonne, au numérateur de l'avant-dernière expression algébrique	»	b^{2+2}	»	b^{2n+2}
» 152, 2e colonne, ligne 13	»	$... = W_0[...$	»	$... = w_0$
» 153, 2e colonne, ligne 3 en remontant	»	(17')	»	(27')
» 155, 2e colonne, ligne 5	»	$(\beta g)^2 + \beta(h)^2$	»	$(\beta g)^2 + (\beta h)^2$
» 156, 1re colonne, dernière ligne	»	$I = \frac{\rho l}{\mu\omega}...$	»	$I = \frac{\rho}{\mu\omega}...$
» 201, tableau, 4e ligne, 7e colonne	»	10,8660	»	10,0866

Dans la revue Elihu Thomson, *Économie comparée des lampes à arc découvert et à arc enfermé*, publiée dans le numéro du 7 août, les exigences de la mise en pages ont nécessité le déplacement du second tableau (p. 314), déplacement qui rend difficile la compréhension du texte. Ce tableau aurait dû être placé au bas de la page 313, immédiatement après la phrase suivante (1re colonne, 9e ligne en remontant) à laquelle il se rapporte :

2e *Série*. — Lampe à arc enfermé, construite pour un voltage normal de 80 volts et réglée pour des voltages différents :

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 28 Août 1897. 4e Année. — N° 35.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

AMPÉREMÈTRE THERMIQUE A MERCURE

On peut mesurer l'intensité d'un courant, en évaluant la quantité de chaleur qu'il développe dans un temps déterminé. C'est la *méthode* calorimétrique [1]. Elle a été rarement employée, parce qu'elle entraîne des manipulations compliquées et qu'elle offre peu de sensibilité. On peut néanmoins la rendre pratique en diminuant le plus possible la valeur en eau du calorimètre employé. Il suffit pour cela de mesurer cette quantité de chaleur, ou une *fraction toujours la même* de cette quantité de chaleur, en la faisant agir sur un corps ayant une faible valeur en eau, sur un gaz renfermé dans une enveloppe en verre et constituant un véritable thermomètre à air, ou encore sur la faible masse de mercure contenue dans le réservoir d'un thermomètre. La première méthode est appliquée en Angleterre dans l'appareil connu sous le nom d'indicateur Wright; cet instrument qui est un véritable ampèremètre thermique se compose d'un tube de verre en U, muni à chacune de ses branches verticales d'une ampoule hermétiquement close. Un liquide coloré spécial remplit partiellement ce tube; l'ampoule de gauche est entourée de plusieurs tours d'une bande de platinoïde traversée par le courant qu'il s'agit de mesurer. L'air contenu dans cette ampoule se dilate sous l'influence de la chaleur développée par le courant et refoule le liquide dans la branche de gauche, tandis qu'il le fait monter dans celle de droite. L'appareil est, en somme, un véritable thermomètre différentiel. Cet appareil très simple peut rendre de grands services, il présente néanmoins quelques inconvénients que je signale rapidement.

Le zéro de l'appareil n'est pas fixe, le niveau du liquide dans la branche de droite varie et la cause de cette variation est facile à comprendre, il faut séparer les deux ampoules pour empêcher la bande de platinoïde d'agir sur l'ampoule qu'elle n'entoure pas. Dans ces conditions les deux ampoules placées dans des enceintes différentes sont rarement à la même température. D'ailleurs le passage du courant dans la bande de platinoïde peut modifier la résistance de cet alliage, et changer la courbe de graduation de l'instrument;

[1] Voir Camichel : Ampèremètre à mercure, *Comptes rendus*, 5 juillet 1897. — Voltmètre étalon et méthode calorimétrique, *Comptes rendus*, 12 juillet 1897. — Communication sur l'ampèremètre à mercure, *Séance de la Société française de Physique* du 2 juillet 1897. — Ampèremètre, voltmètre et wattmètre à mercure, *Séance de la Société industrielle du Nord de la France* (comité du génie civil) du 21 juillet.

Le wattmètre à mercure qui se transforme facilement en perméamètre est fondé sur le même principe que l'ampèremètre Lippmann.

enfin, après le passage du courant, la bande de platinoïde qui s'est dilatée ne reprend pas toujours par rapport à l'ampoule de verre la même position et la quantité de chaleur qu'elle envoie à celle-ci peut varier d'une expérience à l'autre. Ces causes d'erreur m'ont fait abandonner cet instrument, qui peut néanmoins servir dans des mesures peu précises.

La deuxième méthode est beaucoup plus précise, à condition de remplacer la bande de platinoïde par une résistance en mercure. On est bien sûr que ce métal conservera toujours la même résistance, après une élévation de température quelconque. On réalise ainsi l'*ampèremètre thermique à mercure* dont la description va suivre. Le mercure n'a jamais été employé, à ma connaissance, pour constituer des appareils thermiques (ampèremètres ou voltmètres); on l'a employé, il est vrai, pour la mesure des courants alternatifs, mais les appareils auxquels je fais allusion sont de véritables transformateurs; quand on veut, par exemple, évaluer les pertes de flux d'un transformateur, on place dans son voisinage deux thermomètres accolés, l'un à mercure, l'autre à alcool. Les courants de Foucault développés dans le premier échauffent le mercure et il se produit dans ces conditions une différence dans les indications des deux instruments.

Outre la méthode calorimétrique, il existe un autre procédé thermique de mesure des courants : la chaleur développée par le courant agit sur un corps dont on mesure la dilatation, on utilise les effets de la dilatation simple ou de la dilatation différentielle, la dilatation simple quand le courant passe dans des conducteurs homogènes et la dilatation différentielle quand le courant traverse des conducteurs hétérogènes (appareils de Cardew, Ayrton et Perry, Holden, Hartmann et Braun, etc. etc.). Le *voltmètre thermique étalon* à mercure [1] appartient à cette catégorie d'instruments, il présente sur les autres appareils un grand avantage, le même corps, le mercure se dilate sous l'influence du courant et mesure lui-même sa dilatation, on évite ainsi l'emploi des mécanismes destinés à mettre en évidence cette dilatation. Je décrirai dans une autre communication cet appareil, dont la construction nécessite quelques précautions.

[1] C. Camichel, *Comptes rendus*, 12 juillet 1897.

Description de l'ampèremètre thermique. — L'appareil est très facile à construire. On étire légèrement un tube, on le retourne comme le montre la figure 1. Dans la partie étroite *m*,

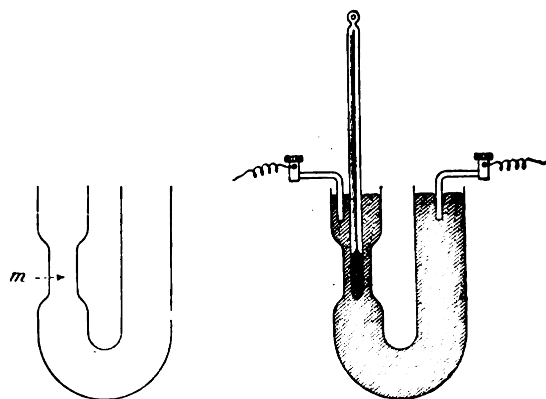


Fig. 1 et 2. — Construction de l'ampèremètre thermique à mercure.

on introduit un thermomètre dont le réservoir a un diamètre peu différent du diamètre intérieur du tube en *m*; on obtient alors l'appareil représenté dans la figure 2. Le tube en U est rempli de mercure pur, et dans ses deux extrémités plongent deux électrodes constituées par des faisceaux de fils de fer. Par ces électrodes, entre et sort le courant à mesurer.

L'appareil ainsi construit donne de très bons résultats; néanmoins dans une construction définitive, il faut prendre quelques précautions.

1° Au lieu de poser simplement le thermomètre dans la partie effilée du tube *m*, il vaut mieux fixer le thermomètre invariablement aux parois du tube en U pour empêcher ses *déplacements* sous l'influence des chocs. Ces déplacements peuvent dérégler complètement l'instrument, comme on le verra plus loin.

2° Il faut aussi faire bouillir le mercure contenu dans le tube en U, afin d'éliminer l'air et l'humidité. Quand on construit l'appareil d'une façon sommaire sans prendre ces précautions, il reste toujours entre le réservoir du thermomètre et les parois intérieures du tube en U une bulle d'air (fig. 3).

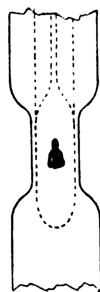


Fig. 3.

Quand le courant à mesurer traverse le mercure, cette bulle peut changer de place, par suite de sa dilatation, et l'instrument est alors complètement déréglé. Néanmoins, si l'on ne dépasse pas une certaine intensité, cette bulle d'air n'a aucune influence et on peut, en repérant sa position, constater qu'elle conserve toujours la même place et les mêmes dimensions. Quand on donne au courant une valeur très supérieure à celle que l'appareil peut supporter, la bulle se dilate, elle finit par contourner le réservoir du thermomètre, le circuit est rompu, un arc jaillit et le thermomètre est souvent mis hors de service par cet accident.

Il faut donc faire bouillir le mercure, si l'on veut avoir un appareil tout à fait constant. Cette précaution est *inutile* pour un appareil que l'on construit rapidement soi-même, et qui est destiné à servir pendant quelques jours à des expériences de laboratoire. La construction complète et la graduation de l'instrument peut alors se faire en une heure et demie, avec les ressources que l'on trouve dans tous les laboratoires, tubes de verre, soufflerie, mercure, thermomètre à mercure. Il faut ajouter à l'appareil construit un chronomètre à secondes, et un commutateur spécial à godets de mercure, également très facile à construire. Il y a peu d'ampèremètres s'appliquant aux courants continus et alternatifs, dont la construction soit moins coûteuse et plus facile.

Dans l'appareil qui a servi pour les mesures qui suivent, le diamètre intérieur du tube en U dans la partie effilée est de 3 mm environ ; le diamètre intérieur du tube en U de 5 mm. Le thermomètre employé est divisé de demi-degré en demi-degré.

L'appareil est fixé sur un support et placé dans un vase de pile pour éviter les courants d'air ; il reste constamment au voisinage de dynamos qui marchent fréquemment.

Pour faire une mesure, on attend que le mercure ait atteint une température uniforme et constante ; on lance alors le courant inconnu, le thermomètre monte ; au bout de 30 secondes, on coupe le courant, on lit la température maxima indiquée par le thermomètre. L'élévation de température θ ainsi constatée est notée, elle permet de calculer l'intensité du courant qui a traversé l'appareil.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre. Le courant traverse le mercure, la chaleur dégagée est surtout localisée dans la partie étroite de la colonne de mercure, c'est-à-dire tout autour du réservoir thermométrique. Cette chaleur n'a pas le temps de se répandre dans la masse du mercure ambiant, elle agit immédiatement sur le thermomètre. L'élévation de température indiquée par celui-ci est donc bien supérieure à l'élévation de température de la masse de mercure tout entière quand l'équilibre est établi.

Soit Q la quantité de chaleur développée, pendant 30 secondes, au voisinage du réservoir thermométrique, sous l'influence d'un courant de n ampères. Une partie de cette chaleur q est communiquée au thermomètre et si celui-ci contient peu de mercure, cette quantité de chaleur q produit une ascension de la colonne de mercure considérable. La quantité de chaleur $Q-q$ est transmise au mercure ambiant du tube en U par conduc-

tibilité thermique, par convection et au milieu extérieur par rayonnement.

Si dans chaque expérience la température initiale de la masse de mercure contenu dans le tube en U a une valeur t_0 toujours la même, si les corps ambiants sont à une température également fixe (pour réaliser cette condition, on peut mettre l'appareil dans une double enceinte contenant de la glace fondante), le le courant de *n* ampères produira, pendant 30 secondes, une quantité de chaleur *q* constante et l'indication du thermomètre sera elle-même constante.

L'appareil donnera toujours pour le même courant la même élévation de température, car le mercure ne subit pas de transformation quand on le chauffe. Il n'y aurait à craindre comme modifications de l'appareil que les modifications du thermomètre, ou les changements dans les dimensions de l'espace annulaire ***m*** où se trouve la résistance de mercure.

Dans la pratique, le rayonnement de l'appareil pendant 30 secondes est faible, la conductibilité thermique du mercure ne varie pas beaucoup avec la température; il est donc à prévoir que l'élévation de température θ correspondant à un courant de *n* ampères, variera très peu avec la température initiale t_0 du mercure contenu dans le tube en U. L'expérience vérifie ces prévisions. C'est une grande simplification dans la pratique.

D'ailleurs dans un appareil destiné à servir d'étalon, il est facile de réaliser toutes les précautions précédemment indiquées.

La résistance intérieure de l'ampèremètre varie pendant les 30 secondes de l'expérience. On peut chercher l'ordre de grandeur de cette variation, en prenant comme exemple l'ampèremètre destiné aux courants compris entre 0 et 20 ampères.

La variation de résistance étant représentée par la formule

$$R = R_0 (1 + at) \quad a = 0{,}00088$$

une élévation de température de 30° produit une variation de résistance qui, pour un appareil d'un cinquième d'ohm, est

$$\frac{1}{5} \times 30 \times 0{,}00088 = 0{,}00528 \text{ ohm}$$

c'est-à-dire un deux centième d'ohm.

Il faudra donc que le circuit dans lequel l'ampèremètre est intercalé ait une résistance de 5 ohms au moins.

Quand on veut mesurer un courant, on intercale dans le circuit une résistance R (fig. 4) égale à la résistance intérieure de l'ampèremètre I; cette résistance intérieure R communique avec le mercure d'un godet *a*, qu'on relie au mercure du godet *b*, en communication avec la suite du circuit. Un pont *ab* permet au courant de passer dans la résistance R. Au moment de faire une mesure, on coupe la communication *ab* et on ferme *cd* en reliant les deux godets *c* et *d* par un pont; le courant passe dans l'ampèremètre. A la fin de la trentième seconde, on rétablit la disposition primitive.

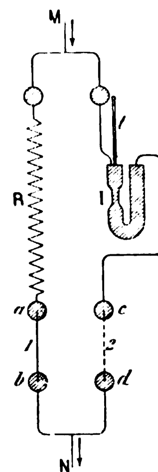


Fig. 4. — Disposition de l'appareil.

Expériences faites sur un ampèremètre à mercure destiné aux courants compris entre 0 et 20 ampères. — Ces expériences comprennent :

1° La graduation de l'instrument;

2° La vérification de la constance des indi-

cations et l'étude de l'influence de la température ambiante;

3° L'emploi de l'appareil pour la mesure des intensités efficaces des courants alternatifs.

Courbes de graduation. — On a comparé l'ampèremètre à mercure à un ampèremètre Chauvin et Arnoux muni d'un shunt de 50 ampères. Le courant provenait d'une forte batterie d'accumulateurs Tudor, il était très constant pendant la courte durée d'une mesure. Au commencement de la première seconde, on établit le courant brusquement au moyen d'une clef à couteau (interrupteur à guillotine). Le mercure monte et, à la fin de la trentième seconde, on interrompt le courant, le mercure s'arrête immédiatement dans la tige du thermomètre et redescend; on lit la position de l'extrémité de la colonne de mercure au moment où elle s'arrête. Cette lecture peut être faite au dixième de degré avec un thermomètre divisé de demi-degré en demi-degré.

Il faut intercaler dans le circuit des rhéostats ayant un diamètre de fil assez gros pour que leur échauffement ne fasse pas varier sensiblement le courant pendant l'expérience. Il est encore plus simple d'utiliser le dispositif de la figure 4.

Voici un exemple de graduation :

INDICATION de l'ampèremètre.	TEMPÉRATURE initiale et température finale.	ÉLÉVATION de température.	INTENSITÉ du courant en ampères.	TEMPS en secondes.	NUMÉRO de l'expérience.
10,0	21°,7 / 24°,4	2°,7	5a,0	30s	1
16,0	22°,0 / 28°,8	6°,8	8a,0	30s	2
24,0	22°,15 / 36°,6	14°,45	12a,0	30s	3
31,0	21°,6 / 44°,5	22°,9	15a,5	39s	4
37,0	21°,8 / 54°,0	32°,2	18a,5	30s	5

Dans ces expériences l'appareil revenait au zéro au bout de 3 ou 4 minutes, la graduation pouvait être faite en une heure. Après avoir obtenu un nombre suffisant de points de la courbe on revenait en arrière et on déterminait un point déjà connu afin de vérifier que l'appareil n'avait pas subi de modification sous l'influence des courants employés pour la graduation.

La nouvelle détermination du point n° 3 donnait :

Ampèremètre.	Températures.	Élévation de température.	Temps.
24,0	22°,2 36°,6	14°,40	50 s.

La courbe de graduation (fig. 5, courbe I), est très régulière; elle monte rapidement. Sur

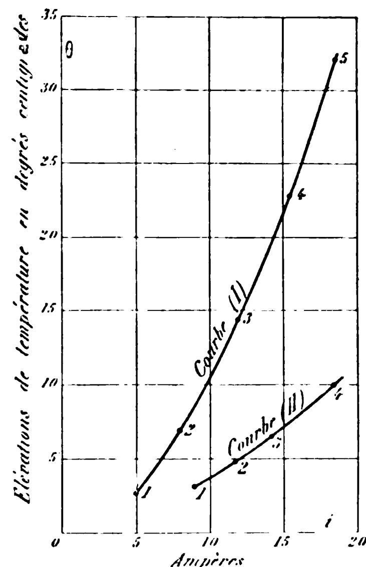


Fig. 5. — Courbes de graduation.

la courbe I un ampère correspond à 2 ou 3 degrés. La sensibilité est donc très suffisante.

La courbe peut être représentée par une formule parabolique

$$0 = -a + bi + ci^2$$

Quand on déplace le thermomètre dans le tube en U les indications de l'ampèremètre à mercure sont modifiées. Pour se rendre compte de cette influence, après avoir gradué

l'instrument et obtenu la courbe I, on a déplacé légèrement le thermomètre. Les résultats obtenus ont été les suivants :

INDICATION de l'ampèremètre.	TEMPÉRATURE initiale et température finale.	ÉLÉVATION de température.	INTENSITÉ du courant en ampères.	TEMPS en secondes.	NUMÉRO
18,0	17°,5 20°,6	3°,1	9,0	30	1
23,5	18°,5 23°,3	4°,8	11,75	30	2
28,5	19°,8 26°,35	6°,55	14,25	30	3
37,0	19°,8 29°,8	10°,0	18,5	30	4

Les résultats de cette seconde graduation sont représentés par la courbe II qui diffère énormément de la courbe I (fig. 5).

La résistance intérieure de l'appareil a été mesurée avant le déplacement, du thermomètre et après le déplacement elle avait très peu varié, elle était toujours voisine de 0,2 ohm. Mais le réservoir du thermomètre n'était plus à la même place dans la partie étroite du tube en U. L'élévation de température du thermomètre dépend surtout de la position du réservoir par rapport aux points

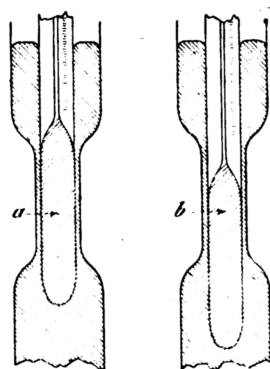


Fig. 6.

qui s'échauffent sous l'influence du passage du courant. La figure 6 montre deux positions du thermomètre dans le tube en U. Pour la position *a* la sensibilité de l'instrument est beaucoup plus grande que pour la position *b*, la résistance est pourtant à peu près la même, la partie annulaire comprise entre le thermomètre et le tube en U dans sa région étroite ayant dans les deux cas la même épaisseur, puisque les thermomètres généralement employés dans les laboratoires sont cylindriques.

Constance des indications et influence de la température ambiante. — L'appareil a été étudié pendant plusieurs semaines, la température ambiante variant de 15 à 28°. On obtenait ces variations en chauffant la salle d'expériences, ou en la refroidissant par des courants d'air.

L'appareil a donné toujours les mêmes indications ; je citerai seulement 4 déterminations correspondant à des températures initiales différentes et à des époques également différentes.

INTENSITÉ du courant.	TEMPÉRATURE initiale et température finale.	ÉLÉVATION de température.
14ª,5	19°,9 39°,6	19°,7
14ª,5	20°,85 40°,5	19°,65
14ª,5	35°,02 15°,3	19°,72
14ª,5	28°,7 48°,4	19°,7

Dans un intervalle de 13°, la température ambiante n'a pas exercé d'influence sensible.

Emploi de l'appareil pour la mesure des intensités efficaces des courants alternatifs. — On a comparé l'ampèremètre à mercure à un électrodynamomètre Siemens. Cet appareil était gradué au moyen d'un courant continu ; on vérifiait que les torsions étaient bien proportionnelles aux carrés des intensités des courants.

Voici quelques nombres :

Intensité du courant en ampères × 2. 2 I	Position de l'index qui indique la torsion du ressort. θ
12,1	82°
15,4	103°
21,4	150°
24,0	178°.5
27,9	221°
33,2	291°

La torsion est nulle pour un angle θ qui est environ 49°.

On construit une courbe (fig. 7) ayant

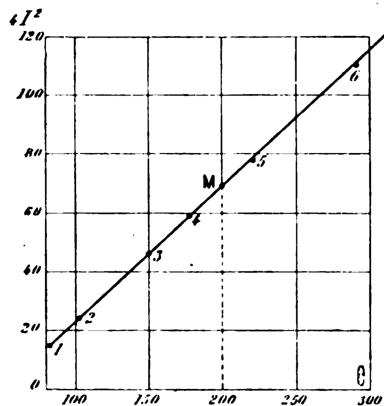


Fig. 7. — Graduation de l'électrodynamomètre.

comme abscisses θ et comme ordonnées $4\ I^2$.

4 I²	θ
82°,0	146,4
103°,0	237,2
150°,0	457,9
179°,5	576,0
221°,0	778,4
291°,0	1102,2

On a adopté le dispositif de la figure 4. Les points M et N étaient reliés aux pôles d'un alternateur Labour (de 2 kilowatts, 40 périodes par seconde) ; on plaçait en outre dans le circuit un tableau de lampes qui permettait de faire varier l'intensité du courant alternatif et l'électrodynamomètre qui se trouvait donc en série avec l'ampèremètre à mercure.

Citons une mesure au hasard :

La torsion du ressort de l'électrodynamomètre s'est maintenue pendant la durée de l'expérience (30 secondes) à 200°,0. La courbe de graduation de l'électrodynamomètre donne le point M dont l'ordonnée est :

$$4\ I^2 = 685,00$$

d'où

$$2\ I = 26,2$$
$$I = 13^a,1.$$

L'élévation de température de l'ampèremètre était :

$$39°,3 - 18°5 = 20°,8.$$

La courbe de graduation de l'instrument n'était plus la courbe I. La figure 8 représente la portion de la courbe de graduation qui a servi à calculer l'intensité. Les points P et Q ont comme abscisses et ordonnées :

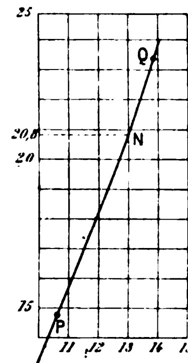


Fig. 8.

P	10ª,7	et	14°,8
Q	13ª,87	et	23°,3.

En prenant l'élévation de température de l'ampèremètre 20°,8 comme ordonnée on a sur la courbe un point N dont l'abscisse est 13,0 ampères.

La concordance est plus que suffisante, et l'exemple cité n'est pas meilleur que les autres. La concordance entre les indications des deux appareils n'est jamais descendue au-dessous de $\frac{1}{80^e}$; la différence était d'ailleurs tantôt positive, tantôt négative.

Avantages et inconvénients de l'ampèremètre à mercure. — L'appareil présente les avantages suivants :

1° Il est très constant, il n'est pas influencé par les aimants, il ne contient ni suspensions métalliques, ni ressorts, ni résistances métalliques susceptibles de se modifier.

2° Il est portatif, on peut imaginer une disposition analogue à celle du baromètre Fortin pour éviter les chocs du mercure contre les parois du tube.

3° Il ne possède pas de self-induction.

Et les inconvénients suivants :

1° La lecture n'est pas directe; on peut, il est vrai, fixer le long de la tige du thermomètre une règle divisée portant une graduation en ampères. On amène le zéro de cette règle en coïncidence avec l'extrémité de la colonne mercurielle de la tige du thermomètre.

2° Il faut ajouter à l'appareil un mécanisme spécial permettant de le faire traverser pendant un temps toujours le même par le courant à mesurer, on peut employer à cet effet un clepsydre à mercure, dans lequel le mercure établit et rompt les communications.

3° L'appareil ne revient pas très rapidement au zéro; on peut il est vrai tourner cette difficulté, en refroidissant la région chaude avec un petit soufflet.

4° La résistance intérieure de l'appareil est considérable.

Les inconvénients que je viens de signaler empêchent cet appareil d'être industriel. Mais il convient parfaitement comme ***ampèremètre étalon portatif*** destiné au contrôle des ampèremètres industriels.

CHARLES CAMICHEL,
Maître de Conférences au Laboratoire de physique industrielle de l'Université de Lille.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
DES VÉHICULES DES CHEMINS DE FER DU JURA-SIMPLON (1)

Le réseau de la Compagnie du Jura-Simplon qui s'étend sur toute la région du Jura et des Alpes Bernoises, soit à peu près moitié sur la Suisse française et moitié sur la Suisse allemande, comprend les lignes principales suivantes : Delle-Délémont faisant suite à la ligne Paris-Delle, Bâle à Berne par Bienne, Bienne à Genève par Neuchâtel et Lausanne, Neufchâtel à Pontarlier, Lausanne à Brigue et à Zermatt, Berne à Lausanne par Fribourg, Berne à Lucerne, Lucerne à Brienz et à Thoune. On a créé à Bienne et à Fribourg, c'est-à-dire en deux points à peu près également espacés des extrémités du réseau, deux centres de distribution et de charge des accumulateurs. On a établi ensuite des dépôts de batteries, alimentés par Bienne ou Fribourg, dans la plupart des grandes gares. Le nombre des batteries en dépôt varie d'après l'importance des gares, qui, au point de vue du passage des trains, sont classées dans l'ordre suivant : Lausanne, Bâle, Berne, Neuchatel, Délémont, Porrentruy, Lucerne, La Chaudefonds.

L'échange des batteries épuisées contre des batteries chargées se fait pour une large part à Bienne et à Fribourg, où s'arrêtent un très grand nombre de trains, et pour le reste dans l'une des gares de dépôt des accumulateurs. Ce service est effectué dans ces gares par les agents du matériel roulant désignés dans tous les pays sous le nom de *visiteurs*. Quelques lampes à incandescence de rechange, confiées également aux visiteurs, sont mises en réserve dans tous les postes de dépôt d'accumulateurs et même dans certaines autres gares. Pendant le stationnement des trains dans les gares, les visiteurs regardent sur le compteur Aubert le nombre d'heures d'éclairage fourni et sur l'inscription du coffre

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 juillet, p. 248.

le nombre d'heures à fournir par la batterie. Ils doivent déterminer d'après ces indications et d'après l'horaire du train si la durée d'éclairage qui reste disponible est suffisante pour atteindre d'une façon certaine le poste de dépôt suivant. S'ils jugent que la charge restante est insuffisante, ils sortent la batterie épuisée de son coffre et la remplacent par une batterie fraîchement chargée prise dans leur poste. Sur le réseau du Jura-Simplon où les trains sont peu nombreux comparés à ceux de nos grandes Compagnies, cette détermination est assez aisée, mais en France, où dans certaines gares une centaine de trains s'arrêtent journellement, elle exigerait de la part des visiteurs qui sont déjà très occupés par leur besogne ordinaire et n'ont pas une éducation technique bien avancée une attention assez difficile à obtenir.

Du local des visiteurs aux quais de stationnement des trains et *vice versa* les accumulateurs sont transportés sur des chariots à bagages de forme quelconque poussés à bras.

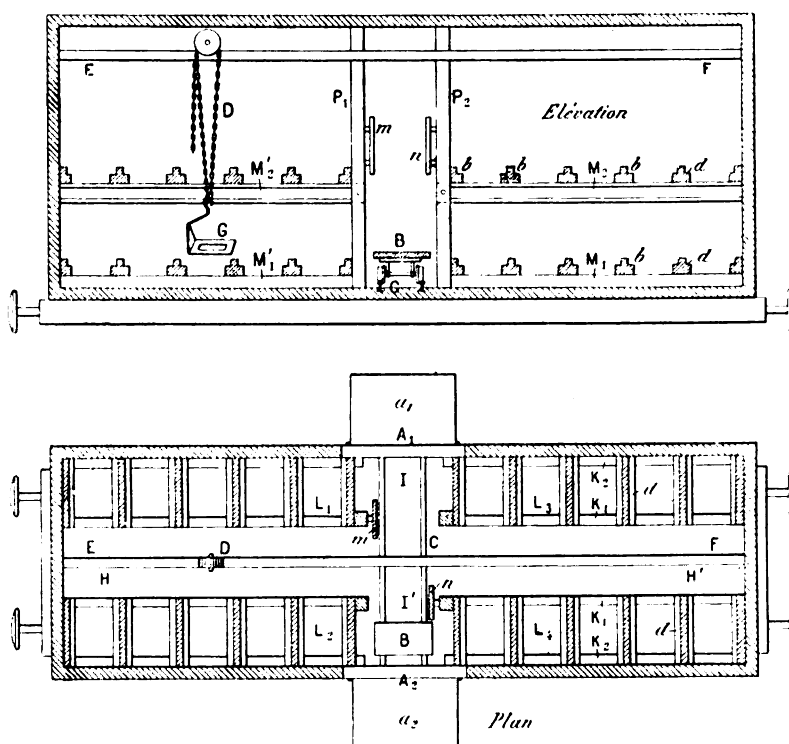


Fig. 1. — Élévation et plan d'un fourgon pour transport d'accumulateurs.

Les gares les plus importantes, telles que Lausanne et Berne, expédient tous les jours aux usines de charge des batteries épuisées et en reçoivent de chargées. Les postes plus petits ne font et ne reçoivent des envois que tous les deux ou trois jours. Les batteries déchargées rassemblées dans les postes sont envoyées d'abord *à la gare* de Bienne ou de Fribourg, puis de là amenées à l'*usine* de chargement correspondante, qui ne se trouve pas à côté des quais c'est-à-dire dans la gare proprement dite.

Le transport du poste de dépôt aux gares de Bienne et de Fribourg se fait en vrac dans des fourgons ordinaires lorsqu'il y a peu d'accumulateurs, et au contraire dans des fourgons spéciaux lorsque le nombre des batteries à expédier est suffisamment grand.

C'est ainsi que le poste de Lausanne reçoit régulièrement tous les jours de Fribourg un fourgon contenant 45 à 50 batteries chargées et réexpédie ce fourgon avec un nombre égal de batteries épuisées et que le poste de Bâle

reçoit tous les trois ou quatre jours de Bienne un fourgon contenant une trentaine de batteries. La Compagnie possède à cet effet 10 fourgons spéciaux, dont 4 de 40 batteries et 6 de 60 batteries.

L'aménagement de ces fourgons, représenté sur la figure 1, rend la manutention des batteries très simple. Les boîtes d'accumulateurs sont amenées sur des chariots à bras du poste de dépôt jusqu'à une des deux portes de milieu A_1 A_2 du fourgon, puis soulevées à bras et déposées sur une petite tablette horizontale a_1 ou a_3 que l'on peut rabattre extérieurement à hauteur du plancher en face de chacune des portes. Les batteries sont ensuite emportées au centre du fourgon à l'aide d'un petit chariot bas B (0,20 cm de hauteur du plancher) que l'on peut faire rouler à la main sur une petite voie C établie dans l'axe transversal du fourgon. Les boîtes à accumulateurs sont alors saisies par une petite grue D et amenées jusqu'au banc de chargement par un mouvement de translation suivi d'un mouvement d'élévation. Cette petite grue se compose simplement d'un moufle métallique dont la partie supérieure roule sur une barre de fer EF disposée dans l'axe longitudinal du fourgon, et qui porte à sa partie inférieure une sorte d'étrier G (représenté en fig. 2) sur lequel on pose les batteries. Le

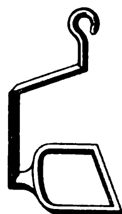


Fig. 2. — Étrier porte-batteries.

fourgon contient 4 étagères de charge L_1 L_2 L_3 L_4 (fig 1), séparées à angle droit par l'allée longitudinale HH′ et l'allée transversale II′. Chaque étagère comprend 2 étages de bancs à 5 places, M_1 M_2 pour les fourgons à 40 batteries et 3 étages pour ceux à 60 batteries. Chaque étage de bancs se compose de 6 tasseaux en chêne *b*, fixés sur deux fers à double T longitudinaux K_1 K_2 et portant des lames de contact en laiton *d* semblables à celles des coffres des voitures. Ces lames de contact sont reliées, par des câbles isolés, en 8 séries de 5 bancs, montées en quantité sur les deux bornes principales d'arrivée du courant. Sur un petit tableau *m*, fixé contre un poteau P d'étagère, sont disposés 8 ou 12 interrupteurs placés à l'extrémité des 8 ou 12 branchements venant des bancs de chargement, et composés chacun de 2 chevilles en laiton introduites dans des trous ménagés dans les barres en laiton. Sur un poteau P_2 d'une autre étagère se trouve un second petit tableau *n*, faisant face au premier, et portant un voltmètre de 30 volts, un volmètre de 120 volts, un ampèremètre de 25 ampères, un compteur de temps Aubert, et enfin les deux bornes d'arrivée du courant constituées par deux chevilles en laiton. Le voltmètre de 120 volts est branché entre ces deux bornes ; l'ampèremètre de 25 ampères est placé sur l'un des deux fils principaux se rendant des deux bornes d'arrivée du courant au tableau de départ des branchements ; enfin le voltmètre à 30 volts a ses deux bornes libres.

Les fourgons spéciaux, qui se rendent surtout à Fribourg et quelquefois à Bienne, lorsqu'ils arrivent en gare sont aiguillés sur les voies de l'usine de chargement où les accumulateurs sont chargés sans transbordement.

A Fribourg presque toutes les batteries arrivent dans l'usine par fourgons spéciaux. Les quelques boîtes qui sont changées à Fribourg même ou qui y sont envoyées dans des fourgons ordinaires sont transportées au fur et à mesure de leur arrivée, de la gare à l'usine, dans des chariots à bagages poussés à la main.

A Bienne peu d'accumulateurs viennent dans des fourgons spéciaux ; la plupart arrivent isolément dans des fourgons ordinaires ; en outre, l'échange de batteries effectué dans la gare même fournit un grand nombre de boîtes. Les accumulateurs ne sont généralement pas transportés immédiate-

ment à l'usine; ils sont rassemblés dans de petits chariots plats, pouvant supporter 10 boîtes.

Jusqu'au printemps de cette année ces chariots étaient amenés de la gare à l'usine par un raccordement à voie normale. Mais ce raccordement étant aiguillé assez loin et souvent bloqué, on a établi depuis quelques mois une petite voie spéciale Decauville beaucoup moins longue partant de la gare et pénétrant directement dans l'usine, ce qui facilite beaucoup la manutention des batteries.

Jusqu'en 1893 il n'existait qu'une seule usine de charge située dans les ateliers de Fribourg qui se trouvent à 500 m de la gare environ. Au début de l'éclairage électrique des voitures, en 1889, le courant de charge nécessaire aux 4 batteries d'accumulateurs était fourni par une petite installation génératrice à vapeur aménagée dans les ateliers et servant en même temps à l'éclairage des ateliers. En 1891 le nombre des batteries à charger, des lampes et de l'atelier à alimenter ayant augmenté, cette petite station génératrice est devenue insuffisante; plutôt que de l'agrandir on a trouvé plus avantageux de la supprimer et de la remplacer par une sous-station se bornant à utiliser le courant d'une grande station hydraulique d'électricité qui venait de se monter à Fribourg pour faire la distribution générale du courant dans la ville.

Cette station, que M. Blondin a décrite à propos du voyage des congressistes de Genève, est située au-dessous de la ville qui est bâtie sur un promontoire élevé, entouré par une boucle presque fermée de la Sarine. Un barrage, qui se trouve à l'étranglement de la boucle correspondant à l'extrémité de la ville, produit une chute de 10 m utilisée dans 3 turbines, une de 300 chevaux servant à l'élévation des eaux, une autre de 300 chevaux actionnant les deux dynamos à 200 volts du réseau de distribution à 3 fils de l'éclairage, enfin la troisième actionnant les 2 dynamos à 350 volts d'un réseau de distribution de force motrice à 3 fils. Le circuit principal de ce réseau se rend dans la ville en montant presque directement, par 3 fils aériens, de la station à la gare, où se détache un branchement de 3 fils desservant la sous-station des ateliers du chemin de fer.

Cette sous-station, établie par la Compagnie du Jura-Simplon dans ses ateliers de construction du matériel, comprend deux grandes pièces de 9 m × 11,5 m, formant salle des machines A (fig. 3) et salle de chargement B,

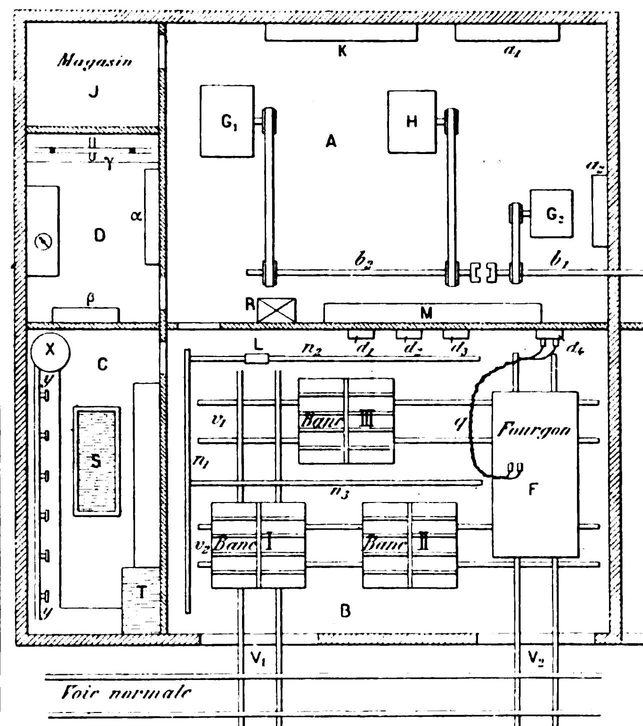


Fig. 3. — Plan de l'usine de charge de la gare de Fribourg.

plus un petit atelier C, un laboratoire D et un magasin J, soit trois petites pièces. Le courant continu à 600 volts arrivant de la station centrale pénètre dans l'usine par trois fils isolés formant 2 ponts, d'où partent deux câbles isolés à 300 volts se rendant chacun à un petit tableau primaire. Ces deux tableaux a_1 et a_2, situés dans la salle des machines A, commandent chacun une réceptrice électrique, G_1 et G_2; ils comprennent un voltmètre de 400 volts, un compteur Siemens, un ampèremètre, un interrupteur, un rhéostat de mise en marche, un coupe-

circuit magnétique de sûreté à rupture brusque. Le plus gros moteur électrique C_1 dont la puissance est de 37 kilowatts ou 50 chevaux et qui absorbe 92 ampères, est du type Thury à 6 pôles et fait 500 tours par minute. Le moteur G_2, du type Thury à 4 pôles, est plus petit ; il a une puissance de 20 kilowatts ou 26 chevaux, fait 800 tours par minute et consomme 50 ampères. Ce petit moteur actionne par courroie l'arbre général de la transmission *b* des ateliers, tournant à 250 tours, qui n'absorbe jamais toute sa puissance. Aussi reliet-on quelquefois cette transmission b_1 à celle b_2 du moteur G_1, lorsque celui-ci est un peu faible pour assurer la charge des accumulateurs. L'arbre de transmission b_2 qui en général ne reçoit son mouvement que de la courroie du moteur, tourne également à 250 tours par minute ; il actionne par courroie une génératrice à courant continu, tournant à 500 tours. Cette dynamo tétrapolaire, d'une puissance de 35 kilowatts construite par les ateliers de Winterthur, peut fournir à la tension de 115 volts, un courant de 300 ampères qui se rend à un tableau général de distribution K.

Le courant principal, après avoir traversé un ampèremètre de 300 ampères un plomb fusible et un parafoudre, aboutit à deux barres de distribution d'où partent 6 branchements principaux. La tension entre ces deux barres, qui peut être mesurée avec un voltemètre à 115 volts, est maintenue constante à l'aide d'un appareil de réglage automatique système Winterthur. Ce régulateur, qui fonctionne très bien, se compose d'un solénoïde faisant monter ou descendre une cuvette de mercure dans laquelle viennent plonger des tiges reliées à un rhéostat intercalé dans le shunt de la dynamo. Sur les six branchements, qui portent chacun un interrupteur et un coupe-circuit, deux servent à la charge, le troisième alimente les ateliers, le quatrième le Dépôt de la traction, le cinquième les lampes à arc de la gare, et le sixième les lampes à incandescence ; la quantité d'électricité consommée par chacun de ces cinq locaux différents est enregistrée par l'un des cinq compteurs disposés sur le tableau. Un des deux branchements de charge qui n'est utilisé que pour les fourgons de transport se rend directement à la salle de charge. L'autre passe au travers d'un interrupteur magnétique coupant le circuit automatiquement dans le cas où la tension descendrait au-dessous d'une valeur déterminée, et se rend ensuite par deux gros câbles isolés au tableau de charge M, fixé sur le mur opposé de la salle des machines.

Le tableau de charge M (fig. 4) présente un

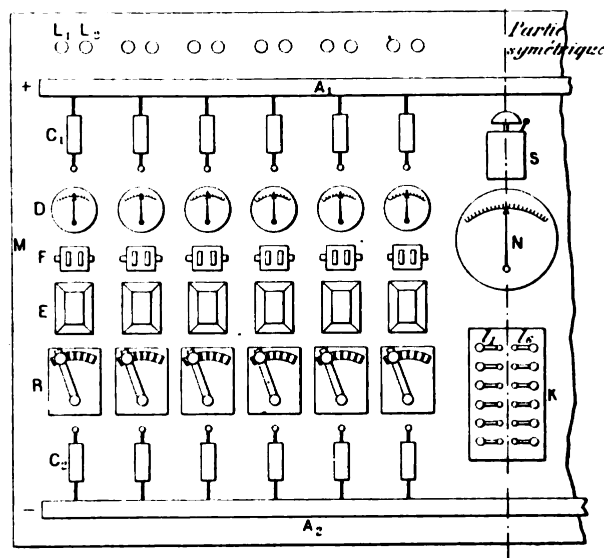


Fig. 4. — Tableau de charge.

aspect très régulier et sa simplicité rend les fausses manœuvres très difficiles. Les deux câbles principaux venant du tableau général de distribution aboutissent à deux longues barres de cuivre A_1 A_2 placées horizontalement, la positive A_1 en haut et la négative A_2 en bas du tableau. Celui-ci est rempli par douze lignes verticales d'appareils absolument semblables, correspondant à douze circuits de charge branchés entre les deux barres principales. Chaque ligne d'appareils comprend deux plombs fusibles C_1 C_2 placés sur le fil, positif et négatif, un ampèremètre D de 30 ampères, une ardoise E sur laquelle on inscrit l'heure du commencement de la charge et l'intensité du courant employé, un rhéostat R placé dans le circuit de charge, un petit électro d'a-

larme F qui déclenche les contacts d'une lampe bleue L_1 si l'intensité du courant de charge est trop faible et descend au-dessous de 13 ampères et d'une lampe rouge L_2 si l'intensité de charge devient trop forte, c'est-à-dire dépasse 25 ampères et met en même temps en action la sonnerie unique S placée au centre du tableau. Au milieu du tableau se trouve en outre un voltmètre Hartmann et Braun N gradué de 80 à 120 volts, à l'aide duquel on peut mesurer la tension aux bornes de l'un quelconque des douze circuits de charge en appuyant sur un des douze petits leviers *l* correspondants disposés, au-dessous, sur le commutateur K.

Les douze fils doubles des branchements de charge traversent la cloison, qui sépare la salle des machines de la salle de charge et se divisent en trois groupes de quatre, reliés à trois petits tableaux commutateurs d_1 d_2 d_3 placés contre le mur mitoyen de la salle de charge. Chaque petit tableau correspond à un des bancs de charge I, II ou III et porte quatre circuits de charge munis chacun d'un interrupteur.

Les bancs de charge, qui peuvent recevoir chacun 20 batteries, sont formés de deux chevalets accolés dos à dos (voir fig. 3); chaque chevalet, constitué par quatre montants, quatre longerons et quatre traverses debout en bois de fortes dimensions, comprend deux étages, l'un placé à 30 cm du sol et l'autre à 90 cm de hauteur. Chaque étagère porte 5 cases à accumulateurs formées, comme dans les coffres des voitures, par six tasseaux transversaux servant de guides à la boîte et par dix règles de bois recouvertes de lames de contacts en laiton sur lesquelles viennent s'appliquer les bandes de laiton placées sous les boîtes à accumulateurs. Les deux lames de laiton placées de part et d'autre de chaque tasseau sont réunies entre elles; les deux fils de chaque circuit de charge sont soudées sur les deux lames situées aux extrémités de chaque étagère; il suffit ainsi de placer les batteries sur l'étagère pour que les 5 boîtes d'accumulateurs se trouvent mises automatiquement en tension dans le circuit de charge. Les batteries ne peuvent être chargées que par séries de 5; s'il en manque une ou deux dans une étagère, on la remplace par une résistance équivalente composée d'un fil de maillechort enroulé sur un cadre métallique et relié à deux fils souples terminés par des chevilles que l'on introduit dans un trou ménagé au milieu des lames de contact de la case vide. Contre chaque banc de chargement est fixée une planchette portant un voltmètre de précision Hartmann et Braun de 30 volts et un petit commutateur à fiches permettant de brancher le voltmètre sur l'une quelconque des 20 batteries.

Les bancs de charge, qui sont montés sur roulettes, sont placés, les nº I et II sur une première voie v_2 et le nº III sur une seconde petite voie v_1 établies dans la salle même de charge, ce qui permet de les déplacer s'il est nécessaire. Deux voies à écartement normal V_1 et V_2 pénètrent dans la salle de charge B, où est installée également une petite grue L manœuvrée à la main, qui peut se déplacer sur des fers à double T en n_1 d'un bout de la pièce à l'autre et en n_2 n_3 le long des deux voies intérieures v_1 et v_2 et dont le crochet porte un étrier semblable à celui des fourgons de transport (voir fig. 2). Grâce à cette grue, la manutention des batteries se fait très aisément. Les chariots à bagage qui apportent ou emportent les accumulateurs sont roulés à côté du banc de chargement choisi; on amène ensuite la grue auprès du banc de chargement en la faisant mouvoir sur ses chemins de roulement transversaux et longitudinaux. Un ouvrier place alors la batterie sur l'étrier pendant qu'un autre tient la chaîne, qu'il tire ensuite pour élever ou abaisser la boîte d'accumulateurs; lorsque celle-ci est arrivée au niveau convenable, le premier ouvrier la pose au point voulu en retirant l'étrier.

Les fourgons spéciaux contenant des accumulateurs sont amenés dans l'intérieur même de la salle de charge B par l'une des deux voies

normales V_2 ou V_1. Les batteries qui arrivent ainsi sont chargées, sans transbordement, dans le fourgon même. A cet effet, on emmanche sur les deux bornes principales du fourgon dont nous avons parlé plus haut deux douilles en laiton attachées à l'extrémité de deux longs fils souples q de grosse section venant d'un interrupteur d_u, fixé contre la paroi interne de la salle de charge et auquel aboutissent deux fils de branchement partant du tableau général de distribution K. On ne charge jamais à la fois qu'un seul fourgon de 40 à 60 batteries, qui absorbe une puissance égale à celle des 3 bancs de charge.

La charge des accumulateurs est effectuée avec un courant d'intensité sensiblement constante de 14 à 18 ampères, pendant toute la durée de l'opération, qui prend environ neuf heures et demie. La tension fournie par le tableau général de distribution étant de 115 volts, le mécanicien introduit au début dans chaque circuit de charge une résistance qu'il diminue ensuite toutes les deux heures environ, au fur et à mesure de l'élévation de la force contre-électromotrice des accumulateurs; s'il oubliait de faire cette manœuvre et laissait tomber l'intensité au-dessous de 13 ampères, ce qui arrive très rarement, il en serait prévenu par la sonnerie et les lampes d'alarme du tableau de charge qui lui indiqueraient immédiatement le circuit à modifier. L'ouvrier ayant inscrit sur l'ardoise du tableau de charge l'heure du commencement de la charge dans chacun des 12 circuits mesure vers la fin de l'opération, la tension aux bornes des accumulateurs, dans le circuit considéré, à l'aide du voltmètre et du commutateur multiple du tableau de charge et coupe le courant dans ce circuit lorsque la tension ne monte plus.

La charge se fait exactement de la même manière sur les fourgons, mais là toutes les séries de 5 batteries sont réunies sur un seul gros circuit contrôlé par le voltmètre du fourgon, tandis que sur les bancs de charge elles possèdent chacune un circuit spécial de charge commandé par le tableau de charge. Cette différence vient de ce que tous les accumulateurs contenus dans un fourgon sont fournis par un même poste et peuvent être chargés ensemble, tandis que les accumulateurs placés sur les bancs de charge n'arrivent pas toujours tous au même instant et sont souvent mis en charge à des époques différentes sur chacun des 4 circuits d'un banc.

On charge les accumulateurs à l'usine, généralement depuis 7 heures du matin jusqu'à minuit, mais on continue, s'il est nécessaire, pendant le reste de la nuit. Le service est assuré par deux ouvriers mécaniciens surveillés par un électricien.

A côté de la salle des machines une petite salle D a été aménagée en laboratoire servant à l'essai des lampes et des accumulateurs. Toutes les batteries neuves ou réparées sont essayées avant d'être mises en service et doivent donner une capacité de 125 ampères-heure, en arrêtant la décharge lorsque la tension est tombée de 18 volts à 16,2 volts c'est-à-dire de 10 p. 100. La batterie ou les deux batteries mises en observation sont placées sur un petit chevalet R, situé dans la salle des machines B et sont chargées par un circuit spécial passant par le laboratoire, au travers d'un grand rhéostat qui absorbe l'excès de tension. Le tableau α, du laboratoire, qui sert à la décharge aussi bien qu'à la charge des batteries à l'essai, comprend en dehors des rhéostats, un compteur Aubert, un ampèremètre de 50 ampères, deux voltmètres de précision de 25 et 50 volts et un ampèremètre de précision de 5 ampères. L'étalonnage de ces appareils et notamment de l'ampèremètre de 5 ampères est vérifié fréquemment par comparaison avec un galvanomètre à torsion de Siemens.

Toutes les lampes à incandescence sans exception sont mesurées avant d'être remises entre les mains des visiteurs. Au moyen d'un rhéostat on amène exactement la tension mesurée au voltmètre de 25 volts, à la valeur de 18 volts aux bornes de la lampe à incandescence montée sur un support mobile en

face d'un photomètre Bunsen ô. L'étalon employé est une lampe à pétrole que l'on règle à 10 bougies avant chaque série de mesures par comparaison avec une lampe Heftner-Alteneck à l'acétate d'amyle. On observe les deux faces de la tache d'huile par réflexion, dans une seule lunette, et lorsqu'on a obtenu l'égalité, par déplacement de la lampe à incandescence, on lit sur une graduation de la lampe l'intensité lumineuse en bougie et sur l'ampèremètre de 5 ampères l'intensité du courant. La lampe est refusée si à la tension de 18 volts elle ne donne pas l'intensité lumineuse indiquée 5, 10 ou 16 bougies ou si elle consomme plus de 3 watts par bougie.

On fait sur un tableau B des essais de de durée portant sur quelques lampes prises au hasard dans les lots qui viennent d'être livrés.

Contre la salle de charge se trouve un petit atelier C de 9 m × 4,5 m dans lequel sont effectués le nettoyage et les réparations des accumulateurs. Au milieu de cette salle est placée une cuve carrée de lavage S en bois, doublée de plomb avec robinet d'arrivée d'eau, et sur une étagère est posé un réservoir T contenant de l'eau acidulée qui est conduite par un tuyau en caoutchouc sur une table faisant le tour de l'atelier. Sur cette table sont disposées plusieurs lampes à souder fonctionnant avec de la benzine et de l'air à la pression de quelques centimètres d'eau. L'air est amené aux lampes par une tuyauterie à robinets *y* faisant le tour de la salle et partant d'un petit gazomètre X où l'air est simplement comprimé par les poids posés sur la cloche.

Nous examinerons dans un dernier article l'usine de charge de Bienne et les résultats de l'exploitation obtenus au Jura-Simplon.

(*A suivre.*)

CH. JACQUIN.

SUR LE CHANGEMENT D'UNITÉ FONDAMENTALE

DANS LES SYSTÈMES ABSOLUS DE MESURE

Sous ce titre nous avons exposé [1] les formules qui permettent de passer directement dimensions des diverses grandeurs dans le système (L M T) à celles des mêmes grandeurs dans un autre système ayant pour unités fondamentales les trois grandeurs G_1, G_2, G_3, dont les équations de dimensions contiennent les trois quantités L, M, T d'une façon plus ou moins complexe. Comme application de ces formules nous avons montré que si dans le système électromagnétique on prend pour unités fondamentales les quantités d'électricité, de magnétisme et d'énergie, c'est-à-dire Q_e, Q_m, et W, les dimensions de toutes les autres grandeurs physiques (y compris les unités actuelles, longueur, masse, temps) sont des nombres entiers. Ceci nous a amené à formuler cette conclusion que « toutes les grandeurs physiques peuvent s'exprimer rationnellement en fonctions des unités fondamentales, de quantité d'électricité, de quantité de magnétisme et de quantité d'énergie ». Enfin nous avons fait remarquer qu'il n'était pas possible de trouver un système d'unités fondamentales donnant pour les grandeurs physiques connues des dimensions entières et positives.

Sous le même titre que nous, M. Brylinski publie [1] une note où sans s'attacher à la partie fondamentale de notre article il critique les conclusions que nous venons de rappeler. En s'attachant ainsi uniquement

[1] *L'Éclairage Électrique* du 25 juin 1897, t. XI; p. 535, et *Elettricista*, n° 3, 1897.

[1] *L'Éclairage Électrique* du 8 juillet 1897, p. 60, t. XII.

aux termes de cette conclusion sans se reporter au reste de notre travail, celle-ci a une portée beaucoup plus grande que celle qu'elle a en réalité. Nous aurions dû évidemment écrire pour plus de clarté « dans le système électromagnétique toutes les grandeurs, etc. ». Mais comme nous avons toujours eu en vue ce système, comme le montre du reste le tableau donné des unités, nous n'avons pas cru, confiant en la sagacité du lecteur, nécessaire de le dire explicitement dans la conclusion en question.

Si les formules générales s'appliquent également au système électrostatique cela tient naturellement aux propriétés inhérentes aux changements d'unité, mais on ne peut en déduire aucune signification en ce qui concerne le système lui-même.

Malgré les critiques de M. Brylinski la propriété que nous avons énoncée conserve donc son entière valeur, mais en se limitant naturellement au système électromagnétique seul.

M. Brylinski fait en outre remarquer que pour plus de généralité on doit rapporter toutes les grandeurs à quatre grandeurs fondamentales L M T K'. L'importance des coefficients K et K' dans les deux formules de Coulomb avait été signalée par Maxwell (1) qui donna même la relation $KK' = L^2 T^{-2}$ et fut ensuite mise sous la forme connue par le professeur A.-W. Rucker (2).

Dans l'état actuel de nos connaissances le symbole K' n'a aucun avantage; du reste le système électrostatique comme le système électromagnétique ne sont que des systèmes de transition et les équations de dimensions n'ont d'autre but que de servir à déterminer d'une façon simple les rapports entre les valeurs de chaque unité dérivée lorsqu'on considère deux séries d'unités fondamentales diverses.

Lorsqu'on connaîtra les dimensions de K', l'emploi de ce coefficient et la substitution de ses dimensions se feront facilement dans le système électromagnétique pour donner un système définitif lequel n'est pas encore établi; et comme le pense aussi M. Brylinski, les équations de dimensions auront alors outre leur véritable signification, la propriété qu'ont déjà actuellement celles des grandeurs qui se rapportent à la mécanique, c'est-à-dire de représenter le phénomène intime qui les rendent fonctions des unités fondamentales.

La récente et élégante tentative faite par par M. Joubin (1) pour déterminer les dimensions de K' et que M. Brylinski semble regarder comme très acceptable est basée sur un postulatum dont la raison d'être n'est nullement démontrée ; le raisonnement de ce savant est du reste beaucoup plus attrayant que persuasif.

Quoi qu'en pense M. Brylinski, puisque l'on en est encore aux suppositions, j'estime qu'il est prudent de laisser un peu à part la question des dimensions à attribuer à K', comme celle des dimensions de la température, et attendre qu'elle soit résolue.

Dr Riccardo Malagoli.

La note ci-dessus nous donne satisfaction, puisqu'elle reconnaît que l'application au système Qe, Qm, W des formules établies d'une manière générale avait seulement pour but d'illustrer ces formules par un exemple pratique, et non pas de suggérer la possibilité de substituer ce système au système L, M, T, comme système absolu.

Nous sommes heureux que M. le Dr Malagoli ait bien voulu confirmer expressément ce point, car la rédaction de l'article original nous paraît encore avoir prêté tant soit peu à la confusion, et la sagacité du lecteur devrait, à ce qu'il nous semble, être le moins possible mise à l'épreuve dans un article didactique, en général, et particulièrement sur ce sujet, non seulement parce que cette question des unités, assez simple dans le fond, est une de

(1) *Electricity and Magnetism*, vol. IV, p. 243.

(2) *Physical Society*, 24. XI, 1888.

(1) *L'Éclairage Électrique* du 10 octobre 1896, p. 84, t. IX.

celles qui sont le plus profondément inconnues à la majorité des électriciens, mais encore parce que la plus grande fraction des lecteurs a trop d'occupations ambiantes pour pouvoir approfondir tous les mémoires qui paraissent.

Nous n'hésitons pas à reconnaître à nouveau que le système de M. Joubin n'est qu'une hypothèse et qu'il n'y a pas lieu de l'introduire dans l'enseignement ordinaire ; mais il nous est impossible d'admettre la volatilisation systématique du pouvoir inducteur magnétique.

C'est ainsi que nous avons lu avec surprise dans un très bon ouvrage la phrase suivante : « Certains auteurs autorisés font une distinction entre les lignes de force et les lignes d'induction. Cette distinction est absolument inutile. » Quelques lignes plus loin, on voit cependant que l'induction magnétique $\mathfrak{B}$ est reliée à la force magnétisante $\mathcal{H}$ par la relation

$$\mathfrak{B} = \mu \mathcal{H}$$

dans laquelle μ est un coefficient excessivement variable.

On trouble ainsi complètement les idées de ceux qui étudient le magnétisme, qui ne peuvent se rendre compte pourquoi cette perméabilité μ vient s'interposer dans le cas du fer, et quand il faut au juste la faire entrer dans les équations.

Il faut remarquer de plus que la possibilité même de cet enseignement où les pouvoirs inducteurs magnétiques sont systématiquement passés sous silence provient de ce fait très singulier que celui de presque tous les corps est si voisin de l'unité qu'on peut, dans l'industrie, le prendre égal à 1, sans inconvénient, et que de ceux pour lesquels il diffère de l'unité, un seul est pratiquement employé dans l'industrie, sous ses différentes variétés (fers, fontes, aciers). Si les corps jouissaient de propriétés magnétiques analogues à leurs propriétés électrostatiques, c'est-à-dire si chaque corps avait un pouvoir inducteur magnétique différent, force serait bien de considérer cet important facteur, et cela sans préjuger en rien de ses dimensions.

D'ailleurs, l'introduction indispensable de la perméabilité μ, dès qu'il y a du fer, et il y en a presque toujours dans les problèmes industriels, revient à introduire en sourdine le pouvoir inducteur magnétique, puisque cette perméabilité n'est autre que le rapport du pouvoir inducteur magnétique du corps à celui du vide.

Il ne nous paraît pas indispensable de désigner par la lettre K′ le pouvoir inducteur magnétique des corps ; mais, puisqu'on est obligé de faire intervenir la perméabilité magnétique dès qu'il y a en jeu des corps paramagnétiques, pourquoi la supprimer dans le cas des corps diamagnétiques ?

Il est évidemment simple de ne point faire intervenir tout ce bagage dans les applications de la pratique où c'est inutile. Mais il n'en est pas de même de l'enseignement. La clientèle des écoles d'électricité se compose d'une majorité d'honnêtes gens qui se contenteront de faire leur devoir en perfectionnant des détails d'application dans l'industrie où ils opéreront plus tard, et d'une minorité de gens particulièrement intelligents et actifs qui, non contents de faire leur devoir et de se borner à rechercher des perfectionnements de détails, chercheront à se rendre compte des phénomènes et à apporter au fonctionnement des installations dont ils ont la charge des perfectionnements importants. C'est à ceux-là, dont il y a le plus à attendre, qu'on rend la tâche singulièrement difficile en leur imprégnant le cerveau de théories inexactes.

E. Brylinski.

***

LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE SUR LA SURFACE D'UN ANNEAU (1)

RECHERCHES DES INTÉGRALES DE L'ÉQUATION $\Delta W = 0$.

La forme de l'équation (36) montre qu'on peut la satisfaire en posant

$$W\sqrt{\rho} = T_n^m \cos n\omega \cos m\varphi, \tag{37}$$

T_n^m étant la fonction d'une seule variable λ

Souvenons-nous de l'expression (16) de ρ. Nous pourrons alors donner à l'intégrale partielle de l'équation (36) la forme suivante

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\, F_n^m \cos n\omega \cos m\varphi, \tag{38}$$

où

$$F_n^m = \frac{T_n^m}{\sqrt{1-\lambda^2}}, \tag{39}$$

et F_n^m satisfait l'équation

$$\lambda^2 \frac{d^2}{d\lambda^2}\left(\sqrt{1-\lambda^2}\,F_n^m\right) + \lambda \frac{d}{d\lambda}\left(\sqrt{1-\lambda^2}\,F_n^m\right)$$
$$- n^2\sqrt{1-\lambda^2}\,F + \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\left(\frac{1}{4} - m^2\right) F_n^m \sqrt{1-\lambda^2} = 0.$$

Ici on peut écrire

$$\frac{d}{d\lambda}\left(\sqrt{1-\lambda^2}\,F_n^m\right) = \sqrt{1-\lambda^2}\,\frac{dF_n^m}{d\lambda} - \frac{\lambda F_n^m}{\sqrt{1-\lambda^2}},$$

$$\frac{d^2}{d\lambda^2}\left(\sqrt{1-\lambda^2}\,F_n^m\right) = \sqrt{1-\lambda^2}\,\frac{d^2F_n^m}{d\lambda^2}$$
$$- \frac{2\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}}\,\frac{dF_n^m}{d\lambda} - \frac{F_n^m}{(1-\lambda^2)^{3/2}}.$$

On obtient alors au lieu de l'équation (34) (en la divisant par $\sqrt{1-\lambda^2}$),

$$\lambda^2 \frac{d^2F_n^m}{d\lambda^2} + \lambda \frac{1-3\lambda^2}{1-\lambda^2}\,\frac{dF_n^m}{d\lambda} + \frac{(\lambda^2-2)}{(1-\lambda^2)^2}\,F_n^m$$
$$- n^2F_n^m + \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\left(\frac{1}{4} - m^2\right) F_n^m. \tag{41}$$

Cette équation est du second ordre. Nous chercherons deux de ses intégrales, dont l'une est finie pour $\lambda = 0$, l'autre pour $\lambda = 1$.

L'intégrale de l'équation (41) *finie pour* $\lambda = 0$. — M. Neumann désigne cette intégrale par $I_n^m(\lambda)$.

Posons

$$m = 0,\ n \ldots \text{ quelconque.}$$

Imaginons, que l'anneau, dont la surface s'exprime par l'équation

$$\lambda = \text{const},$$

représente un conducteur électrisé.

A ces conditions son potentiel électrique est constant; mais ce potentiel est l'intégrale de l'équation de Laplace, et par suite doit être représenté sous la forme suivante

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2} \sum I_n^0(\lambda)\cos n\omega; \tag{42}$$

la coordonnée φ ne doit pas entrer dans cette expression, car le potentiel ne dépend pas d'elle.

L'expression (42) doit donc être constante, ce qui donne

$$\sum I_n^0(\lambda)\cos n\omega = \frac{\text{const}}{\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}}. \tag{43}$$

Par conséquent

$$I_n^0(\lambda) = \gamma_n^0 \int_0^{2\pi} \frac{\cos n\alpha\, d\alpha}{\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}}. \tag{44}$$

M. Neumann pose

$$\gamma_n^0 = \frac{1}{2\pi}. \tag{44'}$$

Prenons à présent m quelconque et cherchons l'expression de $I_n^m(\lambda)$

Nous savons que l'équation

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0.$$

doit être satisfaite par les parties réelle et imaginaire de toute fonction d'une variable imaginire.

$$x + iy.$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 juillet, p. 255.

Donc f, ne dépendant pas de z, doit être intégrale de l'équation de Laplace.

Prenons pour f la partie réelle de la fonction

$$(x + iy)^m,$$

c'est-à-dire posons

$$f = \rho^m \cos m\varphi, \tag{45}$$

Ici on doit prendre

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \qquad \operatorname{tang} \varphi = \frac{y}{x}.$$

L'expression (45) est finie pour tous les points de la circonférence polaire ($\rho = \alpha$, $\lambda = 0$) et

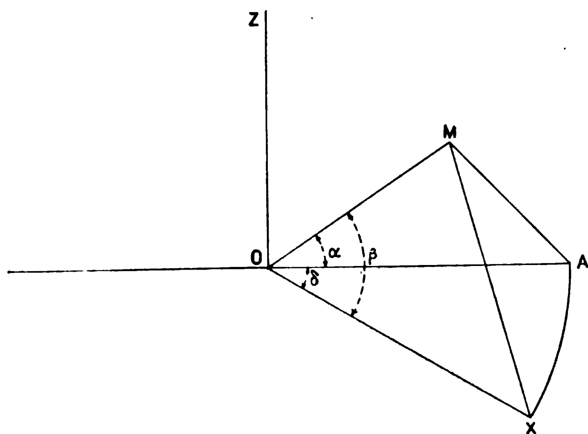


Fig. 2.

par suite, comme elle satisfait à l'équation $\Delta W = 0$, elle doit être représentée sous la forme suivante

$$\cos m\varphi \sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2} \sum \beta_n{}^m \, I_n{}^m (\lambda) \cos n\omega. \tag{46}$$

La comparaison des expression (45) et (46) donne

$$\rho^m = \sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2} \sum \beta_n{}^m \, I_n{}^m (\lambda) \cos n\omega. \tag{47}$$

Nous obtenons le résultat (à l'aide de l'expression 16 de ρ)

$$I_n{}^m (\lambda) = \gamma_{n,\,m} (1 - \lambda^2)^m \int_0^{2\pi} \frac{\cos n\omega d\omega}{(1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2)^{\frac{2m+1}{2}}}. \tag{48}$$

M. Neumann prend

$$\gamma_{n,\,m} = \frac{1}{2\pi}. \tag{48'}$$

Recherches des intégrales de l'équation $\Delta W = 0$, *finies pour* $\lambda = 1$. — M. Neumann désigne cette intégrale par $A_n{}^m (\lambda)$. Prenons un point X (fig. 2) sur la circonférence polaire et désignons sa distance à un point M de l'espace par r, en sorte qu'on ait

$$MX = r. \tag{49}$$

Imaginons-nous, que sur la circonférence polaire sont distribuées des masses électriques, ayant la densité linéaire constante. Le potentiel de ces masses, qui est proportionnel à l'intégrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{MX},$$

(δ étant égale à la différcnce des azimuths des points M et X), satisfait l'équation de Laplace et reste fini en tous les points de l'eespac, sauf ceux de la circonférence polaire. Cette quantité peut donc être représentée sous deux formes différentes, dont la comparaison nous donnera l'expression de l'intégrale $A_0{}^0 (\lambda)$ de l'équation

Calculons M X.

Si $\delta = 0$, nous avons au lieu de X le point A, pour lequel nous avons obtenu

$$MA = \frac{2a\lambda}{\sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}}.$$

Posons

$$MOA = \alpha,$$
$$MOX = \beta.$$

Nous avons

$$\cos \beta = \cos \alpha \cos \delta, \tag{50}$$

$$MO. \cos \beta = MO. \cos \alpha. \cos \delta = \rho \cos \delta$$
$$\frac{(1 - \lambda^2) \cos \delta . a}{(1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2)},$$

$$MX = MO^2 + XO^2 - 2\, MO\, XO \cos \beta$$
$$= \frac{1 + 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2} a^2 + a^2 - 2a^2 \frac{(1 - \lambda^2) \cos \delta}{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2} \tag{51}$$

En résultat nous obtenons

$$MX^2 = 2a^2 \frac{1+\lambda^2-(1-\lambda^2)\cos\delta}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}$$

$$= 4a^2 \frac{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}}{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2},$$

et

$$MX = 2a\frac{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{\alpha}}}{\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}}. \qquad (52)$$

Le potentiel des masses électriques considérées est proportionnel à l'intégrale

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\int_0^{2\pi}\frac{d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}}}. \qquad (53)$$

L'expression (53) satisfait l'équation $\Delta W = 0$ et ne contient qu'un seul multiplicateur $\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}$, dépendant de ω. Par conséquent elle peut être mise sous la forme

$$\alpha . \sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\, A_0{}^0(\lambda).$$

Nous avons donc

$$A_0{}^0(\lambda) = \delta_{0.0}\int_0^{2\pi}\frac{d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin\frac{\delta}{2}}}. \qquad (54)$$

M. Neumann pose

$$\delta_{0.0} = \frac{1}{2\pi}. \qquad (55)$$

Prenons à présent que les masses électriques sont distribuées sur la circonférence polaire avec la densité linéaire proportionnelle à $\cos m\,\theta$, où θ est l'azimuth du point X et satisfait à la rotation

$$\theta = \varphi + \delta, \qquad (56)$$

φ étant l'azimuth de M.

Alors le potentiel de ces masses sera proportionnel à l'intégrale.

$$\int_0^{2\pi}\frac{\cos m\theta d\delta}{MX},$$

ou à

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\int_0^{2\pi}\frac{\cos m(\varphi+\delta)\,d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}}}. \qquad (57)$$

Mais on a

$$\cos m(\varphi+\delta) = \cos m\varphi . \cos m\delta - \sin m\varphi \sin m\delta,$$

et par suite l'expression (57) contient linéairement $\cos m\,\varphi$ et $\sin m\,\varphi$. Chaque terme doit séparément satisfaire à l'équation $\Delta W = 0$, d'où l'on conclut que le multiplicateur de $\cos m\varphi$, c'est-à-dire la quantité

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\int_0^{2\pi}\frac{\cos m\delta d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}}},$$

peut être représentée ainsi

$$\alpha_{a,m}\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\, A_0{}^m(\lambda),$$
$$(\alpha_{0,\,m} = \text{const}).$$

Nous avons donc

$$A_0{}^m(\lambda) = \delta_{0.\,m}\int_0^{2\pi}\frac{\cos m\delta d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}}}. \qquad (58)$$

M. Neumann pose

$$\delta_{0,\,m} = \frac{1}{2\pi}. \qquad (58')$$

Tournons-nous à la recherche de l'expression de $A_n{}^m(\lambda)$ en cas de n quelconque.

Posons, comme au paravant,

$$XM = r,$$

et prenons les quantités

$$\frac{\partial\frac{1}{r}}{\partial z^1},\ \frac{\partial^2\frac{1}{r}}{\partial z^2},\ \frac{\partial^3\frac{1}{r}}{\partial z^3},\ldots\ \frac{\partial\frac{1}{r}}{\partial z^n}, \qquad (59)$$

Toutes ces quantités sont finies pour tous les points de l'espace sauf X. Les intégrales

$$\int_0^{2\pi}\frac{\partial\frac{1}{r}}{\partial z}d\delta,\ \int_0^{2\pi}\frac{\partial^2\frac{1}{r}}{\partial z^2}d\delta,\ ..\ \int_0^{\pi 2}\frac{\partial^n\frac{1}{r}}{\partial z^n}d\delta, \qquad (60)$$

sont finies aussi pour tous les points de l'espace sauf ceux de la circonférence polaire (δ étant égal à la différence des azimuths de M et de X, comme auparavant).

Remarquons que toutes les quantités (59) et (60) satisfont à l'équation $\Delta W = 0$, car $\frac{1}{r}$, étant son intégrale, toutes les dérivées d'un ordre quelconque par des coordonnées x, y, z le sont aussi.

Nous avons

$$\frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} = -\frac{z}{r^3}, \qquad (61_1)$$

$$\frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial z^2} = -\frac{1}{r^3} + \frac{3 z^2}{r^5}, \qquad (61_2)$$

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial z^n} = \sum K_\beta \frac{z^\beta}{r^\alpha} \cdots \qquad (61_n)$$

où $\beta < \alpha$ et $k\,\beta = \text{const.}$

On obtient chaque expression (61) en prenant la dérivée par z de la précédente et l'on fait cela, soit en divisant les termes de celles-ci par $\frac{z}{\beta}$, soit en les différenciant par r et multipliant par $\frac{z}{r}$, c'est-à-dire en les multipliant par $-\alpha \frac{z}{r^2}$.

Les expressions (16) et (17)

$$z = \frac{2\lambda \sin\omega\, a}{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2},$$

$$r = 2a \frac{\sqrt{\lambda^2 \cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}}}{\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}},$$

nous donnent

$$\frac{z}{r^2} = \frac{\lambda}{2a} \frac{\sin\omega}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}}}, \qquad (62)$$

et

$$\frac{\partial}{\partial z}\frac{1}{r} = -\frac{z}{r^3} = -\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\,\frac{\lambda}{4a^2} \times \frac{\sin\omega}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{3/2}}. \qquad (63)$$

Nous voyons que la division par z tient à la division par $\sin\omega$ et à la multiplication par $1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda 2$; la multiplication par $\frac{z}{r^2}$ tient à la multiplication par $\sin\omega$ et par d'autres quantités, indépendantes de ω. Combinant tout ce que nous avons dit avec ce qui s'écoule de l'expression (63), nous pouvons écrire

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial z^n} = \sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2} \sum f(\lambda, \delta) \cos^p\omega \sin^q\omega, \qquad (64)$$

où f, (λ, d) ne dépend pas de ω.

En divisant par z nous obtenons les termes avec dimension par rapport à $\cos\omega$ et $\sin\omega$) égale à $p+q$, ou moindre que cette quantité par l'unité ; en multipliant par $\frac{z}{r^2}$, nous obtenons le terme, ayant la dimension

$$p + q + 1.$$

Donc le terme avec la plus grande dimension est celui qui s'obtient des expressions des dérivés précédents toujours par la multiplication par $\frac{z}{r^2}$. Ce terme est

$$\beta_n \frac{z^n}{r^{2n+1}}.$$

Mais comme les produits $\sin^q\omega \cos^p\omega$ peuvent être exprimés par les séries des sinus ou cosinus des arcs multiples, le terme de la plus grande dimension contiendra aussi la plus grande multiplicité.

Prenons

$$\int_0^{2\pi} \frac{\partial^n \frac{r'}{r}}{\partial z^n}\, d\delta.$$

Le terme de la plus grande dimension sera proportionnel à

$$\int_0^{2\pi} \frac{z^n}{r^{n+1}}\, d\delta,$$

ou à

$$\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\,\lambda^n \int_0^{2\pi} \frac{\sin^n\omega\, d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}} \qquad (65)$$

(comme on obtient aisément à l'aide des expressions (16) et (17) de ρ et ζ).

Comme $\sin^n \omega$ contient linéairement $\cos n\omega$ ou $\sin n\omega$ et comme les termes de toute multiplicité séparément satisfont l'équation de Laplace, nous aurons que le terme

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\cos n\omega.\lambda^n \times \int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}}, \qquad (66)$$

satisfait cette équation, c'est-à-dire est exprimable sous la forme

$$\text{const}\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\,A_n^0(\lambda).\cos n\omega, \qquad (67)$$

La comparaison de (66) et (67) nous donne

$$A_n^0(\lambda)=\delta_{n,0}\lambda^n\int_0^{2\pi}\frac{d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}}. \qquad (68)$$

M. Neumann pose

$$\delta_{n,0}=\frac{1}{2\pi}. \qquad (68')$$

Si nous ne prenons pas

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial\zeta^n},$$

mais

$$\cos m\theta.\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial\zeta^n}, \qquad (69)$$

où Θ est l'azimuth de X, la quantité (69) satisfait à l'équation $\Delta W = 0$ et reste finie pour tous les points de l'espace sauf X, en particulier pour $\lambda = 1$.

En répétant mot en mot les considérations précédentes, nous obtiendrons que la quantité

$$\sqrt{1-2\lambda\cos\omega+\lambda^2}\cos n\omega\lambda^n \int_0^{2\pi}\frac{\cos m(\varphi+\delta)\,d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}}, \qquad (70)$$

satisfait à l'équation $\Delta W = 0$, et nous aurons

$$A_n^m(\lambda)=\delta_{n,m}\lambda^n\int_0^{2\pi}\frac{\cos m\delta\,d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2}+\sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}}, \qquad (71)$$

où M. Neumann pose $\delta_{n,m}=\frac{1}{2\pi}$

$$\delta_{n,m}=\frac{1}{2\pi}. \qquad (71')$$

Ajoutons que dans l'ouvrage de M. Heine[1] les fonctions $A_n^m(\lambda)$ et $I_n^m(\lambda)$ sont irrégulièrement échangées : la première, désignée par $P_m^{n-1/2}$ sert à l'auteur pour la formation de l'expression du potentiel en un point intérieur de l'anneau ; l'autre, désignée par $Q_m^{n-1/2}$ joue le même rôle pour le point extérieur. L'échange de ces fonctions peut rendre les expressions obtenues par M. Heine, régulières.

(*A suivre.*)

N. BOULGAKOFF,
Privat-docent de l'Université de Saint-Pétersbourg.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES [2]

CONTACTS SUPERFICIELS A COMMUTATEURS MÉCANIQUES

La voie F. KRIZIK (fig. 47) ne comporte aucun commutateur, en sorte que les rails de contact k, k, restent constamment en communication avec la source d'électricité, ce qui est peu acceptable pour un tramway sur route ; le mode de montage des rails représenté en détail par les figures 48 et 49 mérite seul

(1) *Handbuch der Kugelfunctionen*, t. II, p. 290.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 241 et 298 ; 31 juillet et 7 août 1897.

d'être signalé. Comme mesure de précaution, l'inventeur emploie simplement un renfle-

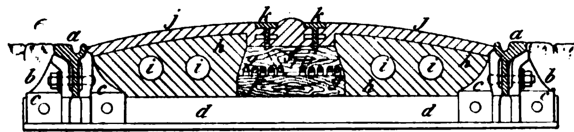


Fig. 47. — Voie Krizik.

ment de l'asphalte *j* entre les deux rails du contact *k* K, qui servent l'un à l'aller, l'autre

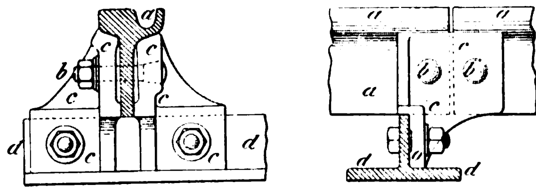


Fig. 48 et 49. — Montage des rails Krizik.

au retour du courant, et ce, afin d'éviter les courts circuits par le passage des voitures (?!!)

MM. H. Allen et O. Peard disposent, le long des rails, à des distances inférieures à la longueur d'une voiture, des boîtes en fonte disposées comme l'indiquent les figures 50 et

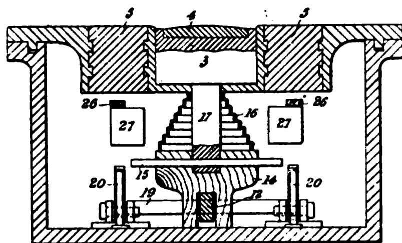


Fig. 50. — Contact superficiel à commutateur mécanique, de Allen et Peard.

51, et dont le couvercle porte un pavé de contact 3 isolé par des blocs 5, et dont le haut est formé par une surface 4 supportant l'usure et facile à remplacer.

Un bras 9 traverse le rail et fait saillie dans l'ornière de celui-ci; son extrémité inférieure est articulée à l'extrémité d'un levier 12, pivoté en 13. L'autre extrémité de ce levier supporte un bloc isolant 14, qui est poussé vers le bas par un puissant ressort en spirale 16. Ce bloc 14 porte une tige métallique horizontale 15 fixée dans la tige verticale 17 qui porte à son extrémité supérieure le pavé 3. Les conducteurs 26 partent des lames parallèles élastiques 27.

Lorsque le bras 9 est abaissé par le passage de la roue d'avant de la voiture, le bloc 14 est soulevé, et avec lui la tige 15 et le pavé 3; la première vient s'engager entre les lames 27 et le second vient en contact avec le patin collecteur de la voiture, ce qui ferme le circuit sur les moteurs.

Dès que la roue a passé, le ressort 16 tend à faire revenir les différents organes dans leur position primitive, c'est-à-dire à supprimer le courant; les inventeurs disposent donc un enclenchement formé par une tige 19 qui repose en temps normal sur un siège inférieur d'une pièce 20 pivotée à sa partie inférieure, et pressée par un ressort 22; lorsque le bras 9 est abaissé, la tige 19 vient s'engager dans l'encoche supérieure de la pièce 20 (fig. 52)

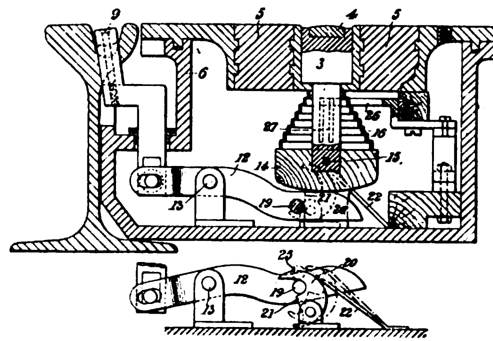


Fig. 51 et 52. — Détail du verrou, système Allen et Peard.

qui maintient le tout en place jusqu'à ce que le déclenchement soit produit par le dispositif suivant : la voiture porte, à l'arrière, une roue spéciale pressée par un puissant ressort et qui vient s'engager dans l'ornière du rail; cette ornière est creusée plus profondément près du bras 9 (!), afin que la roue auxiliaire vienne encore abaisser celui-ci; le levier 12 élève donc à la fois, à ce moment, le pavé 3 et la tige 19. La pièce 20 prend alors la position représentée en pointillé sur la figure, position dans laquelle elle est maintenue par le ressort 22 qui s'engage dans l'encoche 25 qu'elle porte à sa partie supérieure, ce qui

dégage la tige 10 et permet à l'ensemble de céder à la pression du ressort 16 et de revenir dans la position du repos. En descendant, la tige 19 vient heurter la corne inférieure du croissant 20, ce qui le dégage et remet le tout en ordre normal.

Le système de M. A Mégroz serait d'une réalisation pratique assez difficile au point de vue mécanique.

Chaque voiture porte deux roulettes additionnelles C et D, portées par un système de leviers munis de ressorts qui pressent tout le temps la roue C dans l'ornière du rail de droite en avant de la voiture et la roue D dans l'ornière du rail de gauche, en arrière de la voiture (fig. 53 et 54).

Entre les deux rails de chaque voie, dans la conduite souterraine, se trouve disposé un commutateur à contact mobile B, pivoté autour d'un axe horizontal a'; à l'extrémité droite de cet axe, se trouve un bras coudé C qui

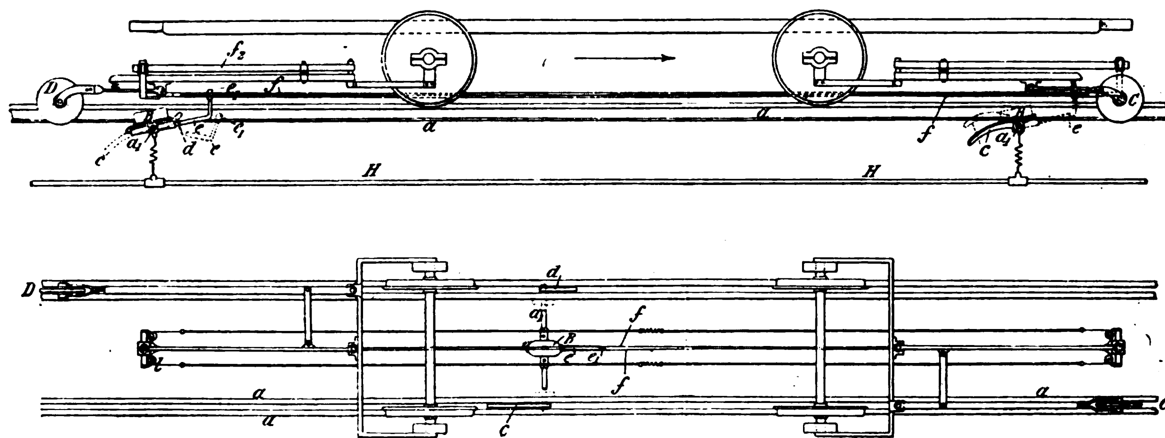


Fig. 53 et 54. — Canalisation Mégroz à contact superficiel et à commutateur mécanique. Coupe et plan.

s'engage dans l'ornière du rail; l'autre extrémité opposée est munie aussi d'un bras coudé *d* qui vient s'engager dans l'ornière du rail de gauche. Ces deux bras *c* et *d* sont situés dans un même plan par rapport à l'axe a', mais sont dirigées en sens opposé.

Lorsque la voiture circule sur les rails, la roulette d'avant C vient abaisser le levier *c*; l'axe a' tourne en entraînant le commutateur B et le bras *d* qui s'élève dans l'ornière du rail; le commutateur B porte un bras coudé *e e'* qui, par la rotation du commutateur, est mis automatiquement en contact avec le câble distributeur H et, en même temps, s'élève au-dessus du sol par une ouverture pratiquée dans le caniveau.

La voiture porte à sa partie inférieure, sur toute sa longueur, deux bandes métalliques parallèles *f f*, convenablement suspendues et isolées; des ressorts tendent à les rapprocher l'une de l'autre sans pourtant les mettre en contact; elles se terminent en V aux deux extrémités; elles sont isolées de tout le massif de la voiture et communiquent avec le circuit des moteurs. Le levier *e e* vient s'engager entre ces lames lorsqu'il sort de terre et ferme ainsi le circuit de l'usine sur les moteurs.

Lorsque la voiture a avancé d'une distance égale à sa propre longueur, la roue d'arrière D vient abaisser le bras *d* et faire ainsi rentrer le contact *e e'* sous terre, ce qui a pour effet de rompre immédiatement la communication avec le distributeur H; en même temps, le bras *c* se relève et le commutateur est ainsi prêt pour le passage d'une nouvelle voiture. Un instant avant que la roue D ait abaissé le levier *d*, la roue d'avant C a rencontré le bras *c* d'un nouveau commutateur placé en avant du premier à une distance un peu inférieure à la longueur de la voiture, afin que l'alimentation soit continue.

Les figures 55 et 56 représentent le commu-

tateur. Il se compose d'une boite fermée B, fixée sur une plaque A portant le bras de contact *e e'*. A l'intérieur de la boîte B se trouve un tube métallique fixe, *g*, qui a la forme d'un V, et qui est à moitié plein de mercure; une de ses branches g^2 est en communication. constante avec le câble d'amenée du courant par un conducteur *h h*; l'autre branche est

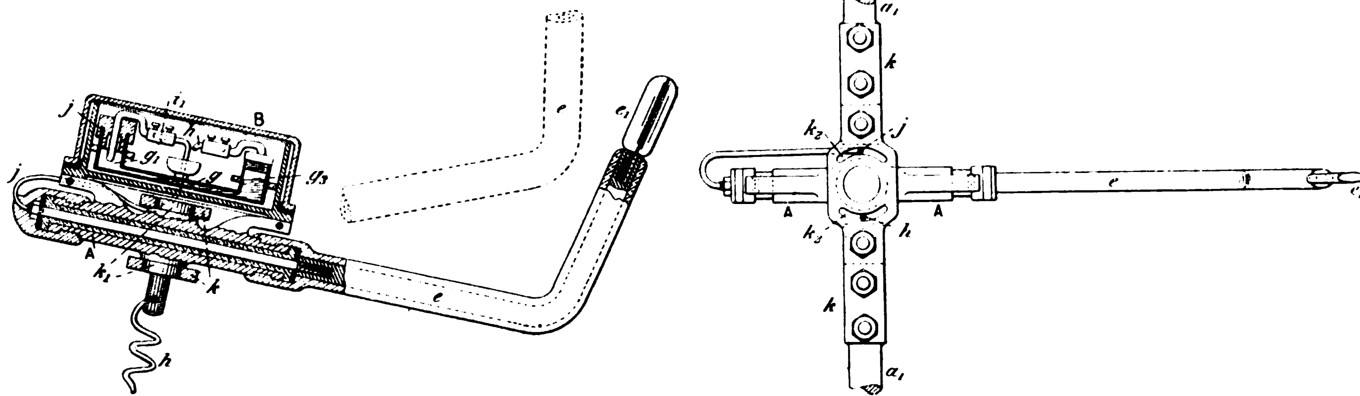


Fig. 55 et 56. — Commutateur Mégroz. Coupe et plan.

fermée par un couvercle isolant que traverse le conducteur *j* relié au bras *e e'*; dans la position figurée, le bras *e e'* est abaissé sous la voie et le mercure se trouve tout en g^2, en sorte que le conducteur *j* n'est pas relié à la source; lorsque la rotation du commutateur aura lieu, le mercure viendra en g^1 et réunira

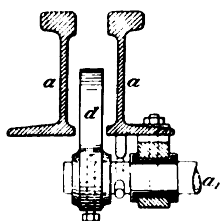


Fig. 57. — Montage du commutateur sur les rails, système Mégroz.

le tube *g* avec le conducteur *i* et, partant, avec le bras *e e'*. L'ensemble A B est monté sur l'axe *a a'* par l'intermédiaire d'un pivot k^1 monté dans une plaque *k* boulonnée sur l'axe a^1 et qui est munie de deux fenêtres circulaires k^2 dans les quelles passent les conducteurs rigides *j* et *k*, en sorte que, lors de la rotation de l'axe a^1, non seulement l'ensemble bascule de haut en bas, mais encore tourne de gauche à droite; le levier *e* s'élève ainsi ou s'abaisse et en même temps se redresse ou se couche; sans cette disposition, la rotation de l'axe a^1 devrait être trop considérable pour que la saillie du bras *e'* au-dessus du sol soit suffisante.

La figure 57 indique le montage de l'axe a^1 sur les rails de la voie; la figure 58, montre la disposition des lames du contact *f f*.

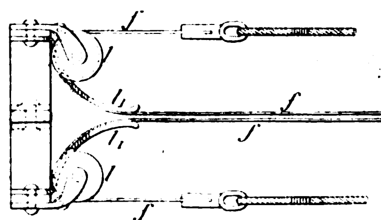


Fig. 58. — Montage des lames collectrices, système Mégroz.

Outre les difficultés de construction mécanique, on peut craindre que la manœuvre accidentelle du commutateur par abaissement du levier *c* ne puisse se faire trop facilement, ce qui pourrait entraîner des accidents.

Le système **Bersier**, dit à cuiller (*Spoon car*) a été essayé avec succès au Havre, il y a peu de temps, par la société Thomson-Houston [1].

Un des rails, celui de gauche (fig. 59 à 62),

---

(1) Le *Génie Civil*, 19 juin 1897, p. 113.

est à gorge profonde; tous les 5 m environ, plus ou moins suivant la longueur des voi-

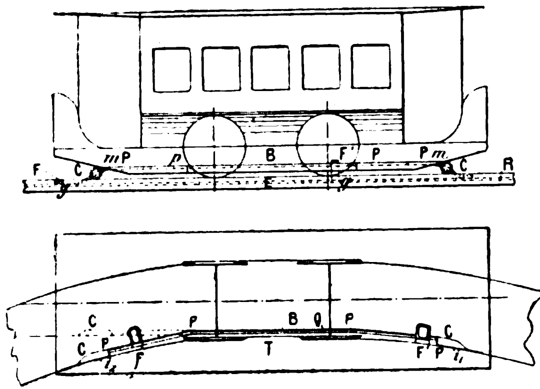


Fig. 59 et 60. — Élévation et vue en plan schématiques des connexions d'une voiture système Bersier, en alignement droit et en courbe.

tures, sont disposées les boîtes ferme-circuit, tire-fonnées sur les mêmes traverses que les rails et contiguës avec le rail de gauche. La voiture porte sur toute sa longueur, entre

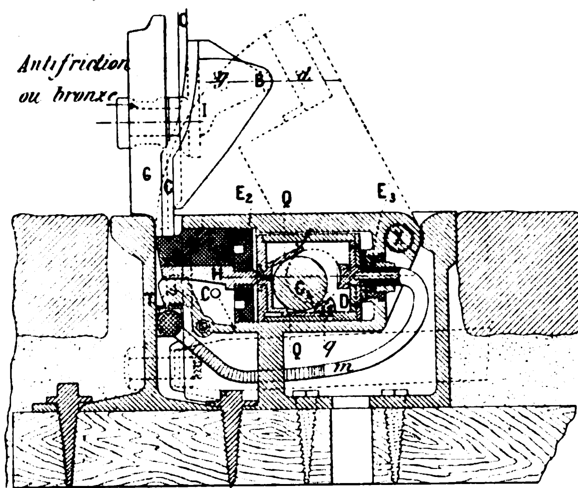


Fig. 61. — Coupe verticale d'une boîte ferme-circuit. Légende : E_1, E_2, E_3, pièces isolantes; *j*, boîte en hêtre paraffiné; I, bloc en gaïac supportant la cuiller *c*.

les roues, une tige métallique isolée B, qui est reliée au circuit des moteurs et dont les deux extrémités sont munies de pièces *c*, dites cuillers, qui sont isolées de la tige B et qui s'infléchissent, pour pénétrer dans la gorge du rail où elles sont terminées par une partie horizontale. La cuiller d'avant vient s'engager sous la broche métallique H du couvercle F de la boîte ferme-circuit, et soulève ce dernier qui est pivoté en X autour d'un axe horizontal parallèle au rail; lorsque son inclinaison atteint 30°, la sphère de cuivre C_1 roule dans son siège métallique Q et vient établir la communication entre celui-ci, c'est-à-dire la broche H et

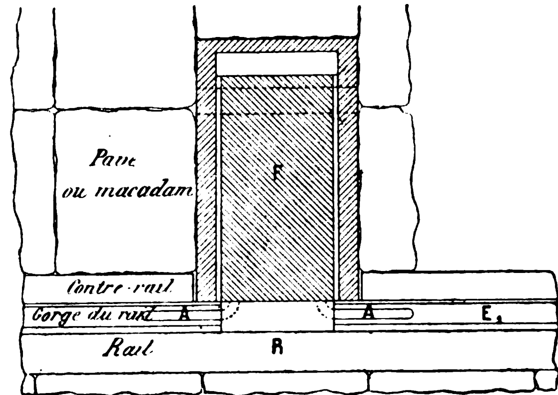


Fig. 62. — Vue en dessus d'une boîte ferme-circuit. E, câble; A, pièces métalliques reliées à la boîte et empêchant que l'on puisse ouvrir le loquet de sûreté avec la main ou une canne.

le contact à rotule D qui est relié par un câble souple *m* au câble distributeur T placé dans la gorge du rail où il est protégé par une gouttière en tôle T. Comme la broche H soulevée comme il est dit précédemment, vient frotter sur la tige B, le courant est fermé sur les moteurs. Lorsque la voiture s'éloigne, le couvercle F s'abaisse en glissant sur la cuiller d'arrière et vient se mettre en place sans bruit, ce qui rompt automatiquement le contact en C' et D. Le couvercle F ne peut être soulevé que par la broche, par suite de l'emploi d'un loquet de sûreté, ce qui évite tout danger d'accident par manœuvre involontaire ou malveillante.

Ce système aurait donné toute satisfaction au Havre; son prix de revient par kilomètre de voie simple ne serait que de 11 640 fr d'après l'inventeur; ce serait un prix inférieur à celui du conducteur aérien.

(*A suivre.*)

G. PELISSIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Sur le phénomène de l'arc électrique;

par A. Blondel [1].

« Dans un précédent travail [2] j'ai fait connaître diverses raisons qui ne permettent pas d'admettre, dans l'arc électrique, l'existence d'une force électromotrice de nature comparable aux forces électromotrices ordinaires, et de même ordre de grandeur que la différence de potentiel entre les crayons. Je me propose aujourd'hui de compléter cette démonstration par les résultats d'expériences exécutées dans ce but, d'après une méthode nouvelle [3].

» Cette méthode consiste à interrompre périodiquement, à des intervalles très rapprochés et pendant des instants très courts, le circuit d'un arc alimenté par un courant constant, et à réunir, pendant chaque interruption, les deux charbons à un galvanomètre; ces opérations sont faites par un commutateur tournant, dont la figure 1 indique la disposition ainsi que le montage des circuits et des appareils.

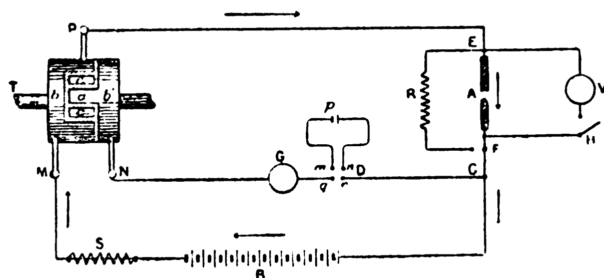


Fig. 1. — Disposition des appareils: T, commutateur tournant; M. et P, balais principaux: N, balai du galvanomètre; B, batterie d'accumulateurs (70 volts) alimentant l'arc; S, résistance de stabilité sans induction; G, galvanomètre; *p*, élément d'accumulateur; D, commutateur inverseur; C, interrupteur à deux directions; A, arc électrique; E et F, bornes de la lampe; R, résistance sans induction pouvant être substituée à l'arc; V, voltmètre; H, clef du voltmètre.

» Le commutateur T, entraîné par un moteur à courant continu à vitesse constante, est formé d'un noyau en ébonite sur lequel sont placées deux bagues *b* et *b'* en cuivre dont l'une, *b*, est plus large que l'autre; la bague *b* porte une large échancrure dans laquelle trouvent place une baguette *a* faisant partie de *b'* et deux plaquettes *cc* isolées, également en cuivre. Toutes ces parties sont séparées par de solides isolants en mica, et les balais sont eux-mêmes très bien isolés de leur support par de l'ébonite, de sorte que l'isolement entre deux quelconques des balais reposant sur le commutateur et entre chaque balai et la terre a toujours dépassé 5 mégohms. Ce commutateur tourne à une vitesse d'environ 40 tours par seconde, et l'échancrure de la bague *b* est d'environ $\frac{1}{5}$ de la circonférence.

» La lampe à arc est alimentée par une batterie B donnant 70 volts de force électromotrice; le courant traverse successivement une résistance de stabilité S, le commutateur entre les balais M et P par l'intermédiaire de la bague *b*, la lampe E F et l'interrupteur C. A chaque tour, il est interrompu pendant $\frac{1}{5} \times \frac{1}{40} = \frac{1}{200}$ de seconde par le passage de l'échancrure de la bague *b* sous le balai P, l'étincelle de rupture se fait sur la pièce isolée *c*. Ces interruptions étant très courtes et très rapprochées, l'arc présente une parfaite stabilité et ne se distingue pas d'un arc ordinaire à courant continu.

» Le régime étant bien réglé, on établit une connexion entre *q* et *r*, de façon que l'arc se trouve fermé en court circuit sur le galvanomètre suffisamment sensible [1] pendant

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 164; séance du 19 juillet.

[2] *La Lumière Électrique*, t. I, p. 612, 30 septembre 1893.

[3] Travail exécuté au laboratoire central de la Société internationale des Électriciens, avec le concours de M. Letheule, ancien élève de l'École d'Électricité.

[1] Ce galvanomètre était un galvanomètre Deprez-d'Arsonval différentiel dont l'un des circuits était court-circuité pour assurer une grande fixité du spot. Le circuit utilisé

chaque passage de la baguette *a* sous le balai P $\left(\frac{1}{600}\right.$ de seconde environ$\left.\right)$. Grâce à cette disposition, on n'a pas à craindre l'influence du refroidissement sur les conditions physiques de l'arc pendant l'extinction (1) ni par suite pendant le passage de la languette *a*. S'il y a donc force électromotrice elle ne peut pas ne pas se traduire par une déviation du galvanomètre et produire une déviation permanente facile à observer.

» Une batterie auxiliaire *p* réduite ordinairement à un seul élément et qu'on intercale dans le circuit du galvanomètre dans un sens, puis dans l'autre, permet d'apprécier la valeur de cette force électromotrice en même temps que de vérifier la sensibilité de la méthode ; il suffit, pour cela, de faire deux lectures des déviations ainsi obtenues et de les comparer à celle que donne l'arc seul.

» D'autre part, on compare l'arc à une résistance en substituant à la lampe à arc, par la clef C, une résistance morte R, prenant sensiblement *même courant et même voltage* et en refaisant la même série de mesures que sur la lampe, de façon à apprécier en quoi diffèrent les phénomènes observés dans les deux cas.

» Le tableau suivant résume quelques-unes des séries de chiffres ainsi obtenus, les déviations étant comptées en millimètres de l'échelle transparente à partir d'un zéro repéré chaque fois :

		CAS DE L'ARC					CAS DE LA RÉSISTANCE SUBSTITUÉE				
		Régime de l'arc (2)		Déviations du galvanomètre.			Régime auquel on soumet la résistance.		Déviation du galvanomètre.		
					Arc avec la pile *p*.					Résistance avec la pile *p*.	
Numéro de l'expérience.	Nature des crayons.	Amp.	Volts aux bornes.	Arc seul.	sens +.	sens —.	Amp.	Volts aux bornes.	Résistance seule.	sens +.	sens —.
1.....	A. H.	5	35	7	70	— 78	5	34,5	0	71,5	— 75
2.....	H. H.	8	28	1	75	— 72	8	27,7	— 9,5	66	— 83
3.....	H. H.	10	18	0	75	— 73	10	18	— 4	73	— 78
4.....	H. H.	8	18	— 3,5	73	— 75	8	28	— 8	67	— 82
5.....	H. H.	11	4	1,3	80	— 73	11	4	0,5	76	— 73
6.....	A. H.	7	20	1	73	— 73	7	20	1	76	74
7.....	A. H.	7,5	20	2	71	— 74	7,5	20	— 3	71	75
8.....	A. H.	8	18	— 5	70	— 78	8	17,7	— 6	68	79
9.....	H. H.	8	19	— 1	72,5	— 77	8,25	17,5	1,2	75,5	73
10.....	A. H.	6	29	2,5	77	— 75	6	29	2,5	77	74

» On voit que les deux déviations produites par une force électromotrice de 2,5 volts seulement (force électromotrice de l'accumulateur *p*) dans le circuit de l'arc sont très grandes par rapport à celles que donne l'arc seul. Ces dernières, ainsi que les différences entre les deux déviations différentes, qui sont de même ordre, ne suivent aucune loi systé-

avait une résistance de 128,9 ohms à laquelle on ajoutait en série une bobine qui la portait à 3676 ohms. La résistance de l'arc est négligeable en face de celle-là.

(1) C'est faute d'avoir réalisé cette condition qu'aucun des précédents expérimentateurs n'a donné de solution certaine de la question.

(2) Ces régimes sont les régimes apparents égaux aux $\frac{4}{5}$ des régimes vrais pendant le passage du courant.

matique et rentrent dans les erreurs d'expériences; celles-ci n'ont rien d'exagéré si l'on songe que l'on rompt brusquement un courant d'une dizaine d'ampères à chaque tour du commutateur et que l'isolement de la batterie principale par rapport au galvanomètre n'est jamais absolument parfait [1]. En tout cas, en admettant même que ces déviations soient dues à autre chose que des erreurs, la plus forte de celles-ci, dans le cas de l'arc seul, ne dépasse pas cinq divisions, tandis que la pile donne en moyenne soixante-quinze divisions; la force électromotrice de l'arc ne pourrait donc dépasser.

$$\frac{5}{75} \times 2,25 = 0,15 \text{ volt.}$$

» Il y a loin de là aux 20 ou 30 volts et souvent plus qu'on lui attribue d'ordinaire.

» *Conclusions.* — Il me paraît définitivement établi par ces mesures que l'arc électrique, considéré à un régime donné de courant et de voltage, se comporte sensiblement comme une résistance et ne présente pas de force contre-électromotrice comparable à la différence de potentiel observée; il n'est donc pas dû à un phénomène d'électrolyse. Au degré de précision obtenu, on peut même assurer que s'il subsiste une force électromotrice résiduelle, due aux effets thermo-électriques par exemple, elle ne saurait dépasser une fraction de volt.

» L'arc est, en définitive, *équivalent* à une résistance, sans que cette expérience puisse d'ailleurs permettre de déterminer la *nature* de cette résistance. »

Transmissions électriques et transmissions mécaniques dans les ateliers;

Par C.-H. Benjamin [2].

L'auteur a relevé sur place, dans différentes usines employant les transmissions mécaniques, la puissance fournie par le moteur, la puissance dépensée par le frottement des arbres de transmission et des courroies, ainsi que la puissance utilement dépensée par les machines-outils. Les chiffres qu'il a obtenus sont réunis dans le tableau I (page suivante).

Il a ensuite calculé les dépenses de premier établissement entraînées par l'installation des transmissions mécaniques ou électriques et la différence des frais annuels d'exploitation dans chaque cas.

Pour établir les dépenses de premier établissement afférentes aux transmissions électriques, il a admis que la génératrice doit avoir une puissance de 50 p. 100 plus grande que la puissance utilement dépensée par les machines lorsque l'atelier est en pleine activité et que la puissance totale de tous les moteurs réunis est double de celle-ci. Il a de plus admis que, dans la grosse industrie, chaque moteur doit avoir une puissance d'au moins 5 à 10 chevaux et, dans la petite industrie, une puissance d'au moins 2 chevaux; le prix des moteurs électriques a été calculé sur les bases suivantes :

Puissance du moteur.	Prix du moteur, en francs, par cheval.
2 chevaux	325 francs
3 »	300 »
5 »	225 »
10 »	175 »
20 »	100 »
40 »	85 »
50 »	80 »
65 »	75 »

Les dépenses prévues pour l'installation électrique sont donc des maxima qui seraient rarement atteints en pratique.

Pour évaluer l'économie réalisée annuellement dans l'exploitation, l'auteur a admis que le rendement total des génératrices et des réceptrices est de 66 p. 100. La puissance absorbée par les arbres de transmission etc., est calculée d'après l'avant-dernière colonne du tableau I en en déduisant 10 p. 100 de la puissance totale pour les frotte-

[1] Il est à remarquer, du reste, que l'isolement ne pouvait introduire que des causes d'erreurs *favorables à l'idée d'une force contre-électromotrice.*

[2] D'après *Machinery* (N. Y.).

ments du moteur. L'excès de puissance dépensée par les transmissions mécaniques sur les transmissions électriques, est compté à raison de 300 fr par cheval-an, et représente l'économie annuelle. Le tableau II reproduit le résultat des calculs. On voit que les transmissions électriques coûtent en général plus cher à établir, mais permettent de réaliser des économies annuelles telles que l'excès de dépenses est couvert en une durée de 1 à 5 ans.

Tableau I

Puissance dépensée dans les transmissions mécaniques.

N° d'ordre des usines.	Longueur totale des arbres de transmission en mètres.	Diamètre des arbres en centimètres.	Nombre de courroies.	Largeur moyenne des courroies en centim.	Nombre de machines.	Nombre d'ouvriers.	Puissance totale dépensée en chevaux.	Puissance totale réellement dép. par les machines en chevaux.	Puissance totale absorbée par les transmis. en chevaux.	Puissance moyenne utilement dépensée par chaque mach. en chevaux.
1	40	6,50 — 7,00 10,00 — 15,25	89	10	»	»	400	243	157	»
2	175	7,5 — 8,75	28	15	18	78	74	17	57	»
3	160	6,5 — 7,5	53	14	43	152	38,6	13,3	25,3	0,310
4	440	6,5 — 7,5 — 10	92	12	69	80	59,2	11,3	47,9	0,164
5	340	7,5	141	10	68	300	112	48	64	0,707
6	320	5 — 7,5 — 10	192	10	123	225	168	77	91	0,627
7	230	3,8 — 4,5 5,0 — 7,5	217	7,5	250	200	40,4	19,7	20,7	0,790
8	150	5 — 7,5	335	7,5	313	226	74,3	34,3	40	0,109
9	300	4,5 — 6,5	217	7,5	258	100	47,2	22,7	24,5	0,881
10	750	5 — 15,25	521	7,5	454	400	190	88	108	0,180
11	450	5 — 7,5 — 10	484	7,5	179	350	107	32,5	74,5	0,181
12	540	5 — 5,7 6,5 — 7,5	486	7,5	428	320	241	127	114	0,296

Tableau II

Dépenses comparées aux transmissions mécaniques et électriques.

N° d'ordre des usines.	Frais de premier établissement.			Perte de puissance dans la transmission.			Économie annuelle par emploi de l'électricité.
	Arbres et cour.	Électricité.	Différence.	Électrique.	Mécanique.	Différence.	
	en fr.	en fr.	en fr.	en chev.	en chev.	en chev.	en fr.
1	»	»	»	121	117	— 4	»
2	18250	35750	+ 17500	9	49	+ 40	12000
3	18750	15000	— 3750	7	21	+ 14	4200
4	37250	10500	— 26750	6	42	+ 36	10800
5	38500	35000	— 3500	24	53	+ 29	8700
6	42750	54750	+ 12000	39	74	+ 35	10500
7	13500	21500	+ 8000	10	16	+ 6	1800
8	20000	35000	+ 15000	17	32	+ 15	4500
9	20000	25000	+ 5000	12	20	+ 8	2400
10	48250	90000	+ 41750	41	89	+ 48	14400
11	37750	35000	— 2750	16	64	+ 48	14400
12	42000	125000	+ 83000	64	90	+ 26	7800

Il faut remarquer, cependant, que le principal avantage des transmissions électriques ne consiste pas surtout dans leur meilleur rendement, mais bien plutôt en ce qu'elles permettent d'obtenir une plus grande production par homme et par machine. Les dépenses en force motrice ne représentent souvent que 1 p. 100 des dépenses totales d'exploitation, tandis que le salaire des ouvriers représente une part beaucoup plus considérable.

A ce point de vue spécial, les avantages de l'électricité sont les suivants :

1° Disposition générale des machines permettant une manœuvre plus facile ; 2° absence d'encombrement de l'espace supérieur permettant l'emploi de ponts roulants ; 3° plus grande clareté et plus grande propreté; 4° contrôle facile de la vitesse; 5° grande élasticité des moteurs ; 6° emploi de l'électricité pour d'autres usages que la force motrice (¹). G. P.

Perturbations téléphoniques dues aux courants de tramways;

Par P. van VLOTEN (²).

L'an dernier, M. von Wietlisbach, ingénieur des télégraphes suisses, présentait au Congrès de Genève, un rapport très documenté sur les perturbations téléphoniques dues à l'influence des courants industriels, rapport qui a été publié dans ce journal ainsi que la discussion qui a suivi sa communication au Congrès (³). Presque en même temps, M. van Vloten, ingénieur de traction, présentait à l'Union internationale permanente des tramways un rapport non moins documenté sur le même sujet, en se bornant toutefois aux actions perturbatrices des courants servant à la traction électrique, courants qui, en pratique, forment la majeure partie des courants industriels ; bien qu'en certains points ce rapport fasse double emploi avec celui de M. von Wietlisbach, l'importance de la question, nous engage à en donner l'analyse, en insistant particulièrement sur les points non communs.

Les *causes* des actions perturbatrices sont :

A. La tension et l'intensité relativement élevées des courants de tramways ;

B. Les variations continuelles plus ou moins grandes et plus ou moins rapides de ces mêmes courants sous forme d'ondes.

La *propagation* de ces perturbations aux circuits téléphoniques peut s'effectuer par trois moyens distincts :

a. Le contact direct et accidentel entre les conducteurs à fort et à faible courant ;

b. Les dérivations continuelles de courant des circuits de tramways vers les circuits télégraphiques ou téléphoniques ;

c. L'induction électromagnétique et électrostatique s'exerçant entre ces mêmes circuits.

Les *moyens préventifs* à appliquer peuvent se subdiviser comme il suit :

α. Moyens agissant directement sur les causes des actions perturbatrices ayant leur siège dans le circuit à haute tension ;

β. Moyens tendant à empêcher la propagation des courants ou des ondes par contact, dérivation ou induction des circuits à haute tension aux circuits à basse tension ;

γ. Moyens tendant à diminuer l'influence perturbatrice des courants ou des ondes dans les circuits téléphoniques.

L'examen des *moyens préventifs directs* est intimement lié à celui des causes. Comme il ne peut être question de diminuer la tension et l'intensité des courants de tramways, on ne peut agir que sur les variations continuelles de ces courants. Or les grandes variations dues aux démarrages, aux arrêts, en

(¹) Voir à ce sujet : DUGALD C. JACKSON. Les transmissions électriques dans les ateliers. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 111, 10 avril 1897.

(²) Rapport présenté à la neuvième Assemblée générale de l'Union internationale permanente de tramways ; Stockholm 1896.

(³) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 385 et 394, 29 août 1896.

un mot à la consommation variable d'énergie des voitures, étant toujours lentes, ont peu d'influence sur la transmission téléphonique; il ne reste donc plus à considérer que les variations rapides dues : 1° au contact imparfait entre les rails et les roues; 2° au contact imparfait entre le fil de travail et la roulette ou le frotteur; 3° au passage des balais sur les collecteurs des moteurs.

M. van Vloten décrit sommairement à ce propos les expériences de M. du Riche Preller et de M. von Wietlisbach qui tendaient à montrer la prépondérance de la seconde cause : contact imparfait entre la prise de courant et le conducteur par suite de l'oscillation de ce dernier; puis les expériences de M. Julius West, qui semblaient montrer la prépondérance de la première cause; enfin les expériences faites à Zurich en mai 1896 par M. von Wietlisbach qui montrent que la véritable cause des perturbations est le moteur de la voiture. Ces différentes expériences étant déjà connues de nos lecteurs par le rapport de M. von Wietlisbach, nous passerons aux conclusions de cette partie du travail de M. van Vloten.

Les moyens directs se ramènent à :

Faire usage de dynamos et d'électromoteurs possédant un nombre assez grand de sections élémentaires dans les armatures, dans le but de diminuer l'amplitude des pulsation du courants;

et accessoirement :

Améliorer le contact entre les roues et les rails et entre le fil de trôlet et l'appareil de prise de courant;

Éviter autant que possible les vibrations de la voie et de l'appareillage aérien.

Les *moyens préventifs indirects* ayant pour but d'éviter la propagation des courants ou des ondes dans les circuits téléphoniques, ou les effets nuisibles de ces actions, peuvent être divisés en trois groupes suivant qu'ils se rapportent aux actions par *contact direct* ou aux *actions par dérivations* ou aux *actions inductives*.

S'il s'agit de diminuer les chances de contact, les procédés à appliquer peuvent se subdiviser en deux classes : *moyens mécaniques* pour éviter les contacts fortuits; et *moyens tendant à éviter la détérioration des appareils* reliés aux circuits se trouvant accidentellement en contact. Chacune de ces classes peut d'ailleurs se subdiviser en deux, suivant qu'on considère les moyens comme applicables aux installations de traction ou comme applicables aux installations téléphoniques.

En examinant les moyens *mécaniques* applicables aux *installations de tramways*, M. van Vloten considère en premier lieu ceux qui consistent dans l'isolation plus ou moins complète des conducteurs de tramways. Dans le cas d'installations à trôlet aérien, les feeders seuls peuvent être complètement isolés et le mieux, sous ce rapport, est de les mettre dans le sol, mais il en résulte souvent une augmentation de dépenses assez importante. Quant aux fils de trôlet, ils ne peuvent être isolés que partiellement, généralement au moyen d'une languette en bois imprégnée d'asphalte fixée au-dessus du fil.

Mais, comme le fait remarquer M. van Vloten, le système des languettes n'est pas sans défauts :

En premier lieu, dit-il, les languettes en bois ne donnent qu'une isolation relative dans les temps humides, ce qui fait que les personnes ou les animaux peuvent recevoir un choc plus ou moins violent en touchant le fil reposant sur la protection; de plus, comme les fils téléphoniques abandonnés à eux-mêmes ont la propriété de s'enrouler en spirale, il arrive quelquefois qu'ils se mettent directement en contact avec la partie inférieure non isolée du fil de trôlet.

En second lieu, en admettant même que les conducteurs téléphoniques soient parfaiment protégés par la baguette, la fermeture accidentelle du circuit est encore à craindre par le fait de la flèche de prise de courant des voitures lorsqu'elle se redresse; c'est en

vue de cette éventualité que dans certaines installations les roulettes sont munies d'un bourrelet ou d'une garde isolante.

Les lattes en bois ont encore le défaut d'être très difficiles à surveiller; lorsqu'elles arrivent à se pourrir, il faut un examen minutieux de la ligne pour s'en apercevoir.

De plus, si cette protection, qui constitue en somme un appareillage assez délicat, est suffisante pour empêcher les contacts d'un ou de quelques fils venant s'abattre sur la ligne, en revanche cette fragile armature risque fort d'être brisée par la chute d'un faisceau plus ou moins important de conducteurs.

D'autre part les lattes offrent un aspect au moins aussi disgracieux que les fils de garde, surtout dans les parties droites où l'appareillage de ces derniers est peu visible.

Enfin, bien que le prix de l'appareillage par lattes en bois soit fort bas, les compagnies d'électricité ont l'habitude de le faire payer relativement cher.

Comme autre moyen mécanique, M. van Vloten signale les filets de garde, consistant en 2 ou 3 fils d'acier tendus parallèlement, au-dessus, et à une faible distance du fil de trôlet; ce système, également très employé, n'assure qu'une protection relative.

En résumé, conclut l'auteur, le problème consistant à écarter toute possibilité de contact n'est pas complètement résolu par les dispositifs de protection mécanique en usage, mais s'ils ne donnent pas une sécurité absolue, ils rendent de grands services en diminuant dans une grande proportion les chances d'accidents; l'emploi d'une protection mécanique peut être considéré comme indispensable à l'intérieur des villes; dans la plupart des cas il est même nécessaire de protéger non seulement les parties du fil de trôlet se trouvant sous les portées téléphoniques ou télégraphiques, mais encore toute la longueur des conducteurs de tramways; c'est en effet presque toujours en tendant un nouveau fil téléphonique que les accidents se produisent. Il est inutile de faire remarquer que pour être efficaces les appareillages protecteurs réclament une surveillance attentive et un entretien soigneux.

Quant aux moyens *mécaniques* applicables aux *installations téléphoniques,* le plus efficace est évidemment le remplacement des fils nus par des câbles isolés, aériens ou mieux souterrains, dans les traversées de conducteurs de tramways; mais cette solution est coûteuse et ne peut pratiquement être appliquée que si les traversées sont peu nombreuses et si les fils suivant la même direction sont en grand nombre. Une autre solution consiste dans l'emploi d'un filet de sûreté placé au-dessous et à peu de distance du faisceau de fils téléphoniques ; cette solution est moins coûteuse, mais elle est aussi moins sûre.

Parmi les moyens *tendant à empêcher la détérioration des appareils* reliés aux circuits, se trouvant accidentellement en contact, M. van Vloten examine en premier lieu la mise à la terre des fils téléphoniques qui se brisent, mise à la terre qui livre passage au fort courant dérivé par le fil téléphonique en contact avec le conducteur de tramways et l'empêche de se propager jusqu'aux appareils.

Lorsqu'on n'a que quelques fils à protéger, on fait passer chacun d'eux dans une rondelle métallique reliée au sol et fixée près d'un isolateur; dans les conditions normales le fil ne touche pas à la rondelle, mais il se met en contact avec elle dès qu'il est brisé. Lorsqu'il y a un assez grand nombre de fils supportés par une même traverse horizontale, il est plus simple de poser sur cette traverse et un peu au-dessus des fils un conducteur horizontal relié à la terre sur lequel viennent tomber les fils; toutefois, il peut arriver que le fil brisé vienne s'embarrasser dans ceux qui se trouvent au-dessous de lui et que dès lors le contact avec le conducteur de terre ne puisse se produire ou soit imparfait; il est préférable dans ce cas de disposer le conducteur de terre le long de la corniche du toit sur lequel est placé le support de fils téléphoniques. Il est

également préférable, dans tous les cas, de relier le conducteur de protection aux rails plutôt qu'à la terre.

Ce système de protection doit être complété par quelques dispositifs spéciaux applicables aux installations de traction : afin de prévenir le personnel de la station des accidents, on monte en dérivation sur les interrupteurs automatiques des lampes à incandescence ; celles-ci s'éclairent lorsque le court circuit fait déclencher l'interrupteur et elles restent allumées tant qu'il y a contact ; ce signal visible peut être complété par des signaux acoustiques, tels qu'une sonnerie mise en dérivation sur les bornes de l'interrupteur ou dont le circuit est fermé par le déclenchement de ce dernier.

A Nuremberg, où il a été essayé, ce système de protection, a donné des résultats des plus satisfaisants. Toutefois, il peut ne pas donner complète sécurité dans des circonstances défavorables. Il peut arriver, en effet, que le fil téléphonique se fonde à l'endroit du contact avec l'œillet ou le conducteur de terre et qu'alors l'indicateur acoustique ou autre de la station centrale n'indique plus l'existence d'aucun contact, bien que l'extrémité libre du fil tombé puisse encore être très dangereuse à toucher si l'on remet le courant sur la ligne en réenclenchant l'interrupteur. Il peut arriver aussi que la résistance du fil téléphonique brisé et du contact soit suffisante pour rendre le courant de terre trop faible pour faire déclencher le coupe-circuit.

Afin de se mettre à l'abri de ces éventualités, on a perfectionné le système de protection précédent par l'adjonction d'un commutateur automatique spécial placé sur la ligne entre les œillets ou les conducteurs de terre du faisceau téléphonique et les rails. Dans ces conditions, lorsqu'il se produit un contact, ce commutateur entre en jeu pour établir une connexion entre la section du fil de trôlet où s'est produit l'accident et la terre, ce qui a pour effet de faire fonctionner immédiatement et à coup sûr l'interrupteur automatique relié au feeder de la section considérée. Afin d'empêcher le fil de se fondre ou de se couper, on intercale une résistance suffisante dans le circuit du commutateur de terre. Le système exige donc un coupe-circuit automatique et un conducteur de terre dans chaque feeder et, de plus, les feeders doivent être isolés les uns des autres afin de ne pas arrêter tout le service en cas d'accident. Il a été appliqué à Zwickau et mis en essai à Dresde ; il est évident qu'il devient compliqué et coûteux quand le nombre des traversées de fils téléphoniques est grand.

Un autre moyen d'empêcher la détérioration des appareils téléphoniques ou télégraphiques consiste à placer sur les circuits de ces appareils des coupe-circuits fusibles. On peut ne placer sur chaque circuit qu'un seul fil fusible fondant pour des intensités de courants de 0,2 à 0,5 ampères. Mais ces coupe-circuits fonctionnent alors sous l'influence des courants atmosphériques en temps orageux et il en résulte des perturbations dans le service. Pour cette raison, il est préférable d'employer deux fils fusibles, l'un fondant pour des courants de 0,1 à 0,2 ampère ayant une certaine durée et placé entre le paratonnerre et l'appareil à protéger, l'autre fondant si le courant atteint des valeurs instantanées de 2 à 3 ampères et placé entrs la ligne et le paratonnerre ; le fonctionnement du premier met la ligne à la terre, celui du second coupe la ligne. Ce système est excellent ; son seul inconvénient est de coûter cher.

Les *moyens préventifs indirects* contre les *dérivations de courants* comportent deux classes suivant qu'ils se rapportent aux installations du tramway ou aux installations téléphoniques.

Le premier comprend tous les moyens usités pour éviter les corrosions électrolytiques que M. van Vloten examine en détail dans une autre partie de son mémoire ; ces moyens peuvent être classés de la façon suivante :

1° La diminution de la résistance du circuit de retour : *a*, en augmentant la conduc-

tibilité des rails; *b.* en employant des conducteurs de retour spéciaux (feeders) entre l'usine et certains points des voies, ou bien en isolant le pôle négatif de la dynamo de la terre (en intercalant au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'usine des résistances croissantes entre les rails et un conducteur isolé établi le long des voies);

2° L'augmentation de la résistance des circuits dérivés en isolant les rails et les conducteurs de retour;

3° La diminution de l'intensité du courant dans le circuit de retour : *a.* en choisissant judicieusement l'emplacement de l'usine, en installant plusieurs usines ou en prévoyant des centres secondaires de distribution; *b.* en employant la distribution à trois fils;

4° La suppression complète du retour par les rails : *a.* en faisant usage de conducteurs aériens ou souterrains isolés; *b.* en employant des accumulateurs.

Les moyens applicables aux installations téléphoniques sont :

1° La suppression des prises de terre téléphoniques aux conduites d'eau ou de gaz reliés aux circuits de retour du tramway ou très voisine des rails; l'éloignement des prises de terre téléphoniques hors de la zone longeant les voies;

2° L'isolement aussi parfait que possible des circuits téléphoniques spécialement lorsqu'ils empruntent les mêmes supports que les conducteurs à fort courant;

3° L'intercalation des résistances appropriées dans les circuits téléphoniques (l'inconvénient du système est de diminuer la netteté de la transmission).

L'un des *moyens préventifs indirects* contre les *actions inductives* électrostatiques et électro-magnétiques consiste à alimenter les sections du fil de trôlet par les deux extrémités, de manière que le courant, arrivant au moteur suivant deux directions opposées, détermine dans le fil téléphonique parallèle des courants induits qui s'annulent ou du moins se compensent d'une façon suffisante.

Un autre procédé, indiqué dans le règlement du Board of Trade, mais que l'auteur n'a pas encore vu appliqué sur le continent, consiste à placer dans le circuit du fil de trôlet des bobines d'induction spéciales destinées à compenser l'induction due au reste du fil.

Enfin un autre procédé consiste à employer un double conducteur aérien ou souterrain, mais est onéreux.

Parmi les procédés applicables aux installations téléphoniques, il faut citer en premier lieu l'emploi d'un circuit de retour métallique, soit spécial pour chaque ligne, soit commun à un certain nombre de lignes. Le doublement des circuits téléphoniques est évidemment la meilleure solution, mais pour des raisons d'économie, on peut être amené à n'employer qu'un fil de retour pour plusieurs lignes. Ce fil de retour peut être isolé ou non. S'il n'est pas isolé, les deux parties du circuit téléphonique ne se trouvent pas dans les mêmes conditions au point de vue de l'induction, ce qui fait que les perturbations ne peuvent s'annuler, mais seulement se compenser plus ou moins; de plus, les dérivations deviennent possibles et lorsque deux abonnés reliés au retour commun parlent simultanément, le secret des communications n'existe plus. Si, au contraire, le fil commun de retour est isolé, il peut bien se trouver à peu près dans les mêmes conditions que le fil de ligne et les dérivations sont évitées, mais le même inconvénient subsiste en ce qui concerne les dérivations entre postes d'abonnés reliés au retour commun, lorsque des communications ont lieu simultanément. En Belgique, on a en partie remédié à cet inconvénient par l'adjonction d'un commutateur permettant à l'abonné de se servir ou de ne pas se servir du fil commun isolé.

Un second procédé consiste dans l'emploi de transformateurs téléphoniques permettant de limiter la zone dans laquelle doit se faire le doublement des fils. Dans ce cas, on fait usage du système à double fil (ou ses dérivés), uniquement dans la zone influencée, tout en conservant le fil simple dans la zone exté-

rieure; un transformateur ou translateur permet aux communications téléphoniques d'être transmises d'une zone à l'autre.

Un autre procédé consiste à mettre sous terre les fils téléphoniques en les doublant; ce n'est qu'un cas particulier au premier procédé.

Enfin on peut, dans certaines circonstances, recourir au déplacement de lignes téléphoniques.

A la suite de cet exposé, M. van Vloten reproduit un jugement du 9 février 1893 de la haute cour de justice relatif à une demande d'indemnité de la National Telephone Company contre la corporation de Leeds dont les installations de traction électrique causaient des perturbations dans les lignes téléphoniques de la première. Ce jugement, commenté par M. Carmouche, avocat à Bruxelles, est malheureusement trop long pour qu'il nous soit possible de le reproduire. Contentons-nous d'en indiquer la conclusion : Le jugement est rendu en faveur des défendeurs (corporation de Leeds), attendu qu'une Société employant un mode de traction généralement reconnu comme le plus pratique et adopté dans la plupart des installations analogues (trôlet aérien), ne pouvait être taxée de faute parce qu'il y avait ou pouvait y avoir d'autres systèmes plus perfectionnés.

M. van Vloten examine ensuite les moyens de prévention contre les corrosions électrolytiques. Ce sujet a été trop souvent étudié dans ces colonnes pour que nous croyons utile de nous y arrêter à nouveau. Le plan adopté par M. van Vloten pour le classement des moyens préventifs a d'ailleurs été suivi par M. Hanappe dans un rapport analysé ici [1].

M. van Vloten termine son rapport par la traduction du règlement du Board of brade relatif aux installations de tramways électriques; il critique la règle des 7 volts (d'après laquelle la différence de potentiel maxima entre l'usine et les parties les plus éloignées du retour non isolé ne peut dépasser 7 volts) et montre que si cette règle, dans laquelle il n'est pas question de la longueur du circuit de retour, est bonne dans le cas où l'usine est dans l'intérieur de la ville desservie par le réseau de tramways, elle peut devenir inapplicable en pratique quand l'usine est à une distance considérable de la ville. J. R.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 575, 12 juin 1897.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Différence de polarité dans les courants de Tesla et des tubes de Rœntgen excités par ces courants;

Par A. Plüger [1].

La figure 1 représente la disposition de l'appareil qui produit les courants de Tesla, Le pôle a_1 de la bobine d'induction communique avec l'armature intérieure de la batterie et le pôle b_1 avec l'armature extérieure. Les deux armatures sont reliées respectivement aux pôles du micromètre à étincelles f, qui portent deux sphères de zinc : la décharge passe dans l'enroulement primaire, qui, comme le secondaire, est plongé dans un bain d'huile de paraffine : les pôles a_2 et b_2 du secondaire émergent de l'huile. Ceux-ci sont reliés à un excitateur dont les extrémités peuvent être à volonté garnies de disques, de pointes ou de boules : quand on excite le courant, toutes les pièces métalliques de l'excitateur, ainsi que les fils de communication, émettent des radiations intenses. Mais les deux pôles montrent visiblement une grande différence : à l'un d'eux les radiations sont beaucoup plus

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 768-776.

intenses, les aigrettes beaucoup plus longues. Les pôles s'intervertissent quand on change le sens du courant primaire dans la bobine d'induction, les différences étant surtout apparentes quand l'un est muni d'un disque et l'autre

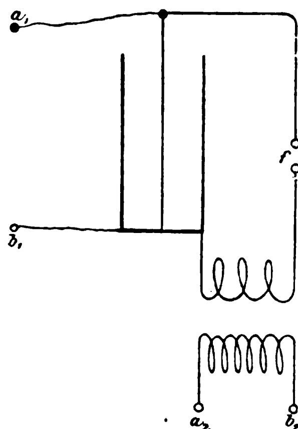


Fig. 1. — Appareil producteur de courants de Tesla.

d'une pointe. Les bords du disque paraissent hérissés de pointes lumineuses et émettent en outre des rayons peu lumineux, dont la longueur peut atteindre 20 cm, qui se dirigent vers la pointe : l'ensemble du disque a l'aspect d'une fleur de tournesol. De la pointe part vers le disque une douche de rayons lumineux, assez faible, qui se change en une pluie de feu quand on intervertit le sens du courant primaire, tandis que le disque n'a plus que des aigrettes sur son bord.

Cette dissymétrie de la décharge n'est pas liée à la dissymétrie des pôles, car elle apparaît tout aussi bien quand les deux portent des sphères, des disques, ou des pointes absolument identiques entre eux. Elle subsiste encore quand on ordonne l'appareil comme le montre la figure 2, entièrement symétrique dans son ensemble.

A l'exemple d'Himstedt, l'auteur a étudié l'écoulement d'électricité issu des deux pôles, au moyen d'un électromètre à feuilles d'or qu'on place au voisinage de l'un des pôles. Les résultats sont tout différents suivant que l'autre pôle est plongé sous l'huile ou est relié à une capacité. Cinq cas différents ont été étudiés : 1° le second pôle est sous l'huile; 2° il est hors de l'huile en même temps que la vis de pression qu'il porte à son extrémité; 3° il porte la même pointe ou la même boule que l'autre pôle; 4° il est relié à un conducteur de grande capacité; 5° il est relié au sol.

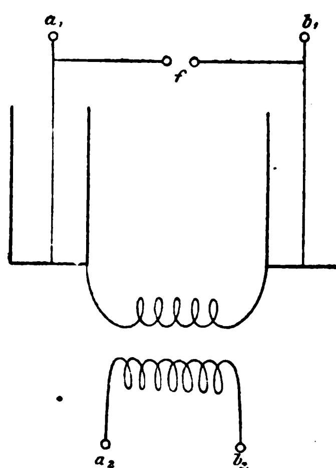


Fig. 2. — Autre dispositif pour la production des courants de Tesla.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous : r et l désignent les deux sens du courant primaire dans la bobine de Rhumkorff.

ÉCOULEMENT D'ÉLECTRICITÉ.

du pôle a_2.	du pôle b_2.
1. b_2 sous l'huile.	1. a_2 sous l'huile.
r faible +	r fort +
l fort +	l faible +
2. b_2 hors de l'huile.	2. a_1 hors de l'huile.
r fort —	r faible +
l faible +	l fort —
3. b_2 avec une pointe.	3. a_2 avec une pointe.
r faible —	r fort +
l fort +	l faible —
4. b_2 relié à une capacité.	4. a_2 relié à une capacité.
r faible +	r fort +
l fort +	l faible +
5. b_2 relié au sol.	5. a. relié au sol.
r } + paraissant également fort. l }	Id.

Pour expliquer cette différence dans les propriétés des deux pôles, on peut admettre que les oscillations dans le condensateur sont tellement amorties, que la première surpasse de beaucoup les autres en amplitude. Il est très vraisemblable aussi que cette oscillation

ne se développe pas symétriquement, mais prend naissance plus vite qu'elle ne disparaît ou inversement. Par suite les deux oscillations de sens contraire, provoquées par elle dans le secondaire seront d'amplitude inégale, d'où la polarité dissymétrique de ce circuit.

Cette dissymétrie se déduit d'ailleurs de la théorie donnée par Oberbeck [1]. Les hypothèses que prend Oberbeck comme points de départ de son calcul sont, il est vrai, plus simples que ne le sont les conditions réelles; mais il est fort probable que cette plus grande complexité augmente plutôt la dissymétrie qu'elle ne la corrige.

Tubes de Rœntgen. — Les courants de Tesla sont très commodes pour exciter les tubes de Rœntgen, d'abord parce qu'ils permettent l'emploi de tubes avec une seule électrode, et ensuite parce qu'on peut relier simultanément plusieurs tubes à chacun des pôles de l'excitateur, sans que l'intensité des rayons émis diminue d'une manière appréciable.

Si on relie un tube à une seule électrode à l'un des pôles de l'excitateur, on observe que l'intensité des rayons X émis par le tube change aussi quand on intervertit le sens du courant dans le primaire de la bobine de Ruhmkorff. L'intensité est la plus grande au pôle qui, dans l'obscurité, fait voir le plus faible rayonnement et qui fournit à l'électroscope la plus faible quantité d'électricité positive, ou même seulement de l'électricité négative.

On peut augmenter dans ces tubes l'intensité des rayons X, comme dans les tubes de Tesla l'intensité lumineuse, en recouvrant extérieurement le verre, vis-à-vis de l'électrode, par une feuille de clinquant; mais les tubes sont plus exposés à éclater. Le danger est moindre si on remplace cette armature extérieure par un petit disque d'aluminium, placé directement au-dessous de l'anticathode de platine, sur le même pied de verre et qui est relié métalliquement à cette anticathode. Les tubes ainsi disposés donnent de bons résultats, inférieurs cependant à ceux des bons tubes à deux électrodes. M. L.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 476.

Aimantation du fer et de l'acier dans les champs magnétiques faibles;

Par L. Holborn [1].

L'aimantation des échantillons, qui ont la forme de barreaux cylindriques (15 cm × 0,3) est mesurée par la méthode magnétométrique. La bobine magnétisante enroulée sur un tube de verre ayant 0,4 cm de diamètre intérieur, comprend en deux couches, 1486 spires d'un fil de 0,025 cm de diamètre.

L'action de cette bobine sur le magnétomètre est compensée par celle d'une bobine pareille: toutes deux sont placées dans la première position principale. Dans chaque série de mesures, on augmente progressivement l'intensité du courant et pour chaque intensité, on fait au moins quatre mesures en renversant le sens du courant. L'intensité est mesurée par un galvanomètre de torsion étalonné au moyen d'une résistance et d'un élément normaux. La force directrice du magnétomètre est déterminée et contrôlée au moyen d'une bobine normale. On attribue au cylindre le même facteur de désaimantation qu'à un ellipsoïde ayant le même rapport d'axes. Avant toute mesure, les échantillons sont naturellement débarrassés du magnétisme rémanent.

Voici les résultats obtenus:

Acier et fer fondu doux :

Acier anglais au tungstène, 1,1 p. 100 de carbone, 1,21 p. 100 de tungstène (1)

$$k = 8,90 + 0,264\ \mathcal{H}.$$

Acier argent (acier à outils), 1,1 p. 100 de carbone (2)

$$k = 8,66 + 0,384\ \mathcal{H}.$$

[1] *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 281-292.

Acier Jonas et Colver (acier à outils), 0,9 p. 100 de carbone (3)

$$k = 8{,}30 + 0{,}409\ \mathcal{H}.$$

Acier Marsh Brothers and C° (acier à outils), 1,4 p. 100 de carbone (4)

$$k = 8{,}27 + 0{,}210\ \mathcal{H}.$$

Dans ces formules k désigne le coefficient d'aimantation, $\mathcal{H}$ la force magnétisante vraie; ces formules sont applicables aux intensités comprises entre $\mathcal{H} = 0$ et $\mathcal{H} = 2$ CGS.

Acier trempé et fonte. — Les courbes s'écartent peu des droites.

$$k = 2{,}23 + 0{,}032\ \mathcal{H} \quad (5)$$
$$k = 3{,}16 + 0{,}236\ \mathcal{H}. \quad (6)$$

Acier corroyé. — Cet acier, martelé suant, est plus doux, quand il a été recuit, que l'acier fondu; mais il se trempe encore. La courbe d'aimantation n'est plus une droite. Au delà de $\mathcal{H} = 0{,}244$, on a

$$k = 10{,}28 + 1{,}92\ \mathcal{H}, \quad (7)$$

mais les points qui représentent les valeurs de k pour les valeurs de $\mathcal{H}$ inférieures à 0,244 sont au-dessous de cette droite.

Fer doux. — Tous les échantillons présentent un retard à l'aimantation.

Fer aciéreux : entre = $\mathcal{H}$ 0,1 et $\mathcal{H} = 0{,}7$.

$$k = 16{,}6 + 18{,}6\ \mathcal{H} \quad (8)$$

au delà de $\mathcal{H} = 0{,}7$, la ligne se courbe et redevient plus tard droite :

Acier fondu : entre $\mathcal{H} = 0{,}07$ et $\mathcal{H} = 09$

$$k = 18{,}7 + 13{,}4\ \mathcal{H}. \quad (9)$$

Au delà de $\mathcal{H} = 0{,}9$, les valeurs de k s'écartent de cette formule; elles correspondent à une autre droite plus inclinée sur l'axe des abscisses.

Fer laminé : entre $\mathcal{H} = 0{,}07$ et $\mathcal{H} = 0{,}75$

Deux fois recuit $k = 45{,}3 + 88{,}3\ \mathcal{H}$ (10)
Une fois recuit $k = 37{,}5 + 61{,}8\ \mathcal{H}$
Non recuit $k = 13{,}0 + 85{,}7\ \mathcal{H}$.

Fer en barres :

Deux fois recuit $k = 51{,}3 + 127{,}5\ \mathcal{H}$, entre $\mathcal{H} = 8{,}18$ et $\mathcal{H} = 0{,}55$ (11)
Non recuit $k = 13{,}0 + 85{,}7\ \mathcal{H}$, au delà de $\mathcal{H} = 0{,}08$.

La courbure des lignes d'aimantation paraît provenir des défauts d'homogénéité du fer, qui produit dans les différents champs différentes répartitions du magnétisme.

Fer dur. — Fil de fer du commerce, entre $\mathcal{H} = 0{,}1$ et $\mathcal{H} = 1{,}07$.

$$k = 5{,}88 + 1{,}76\ \mathcal{H}. \quad (12)$$

Ce fil recuit présentait à peu près la même aimantation que l'échantillon (8). M. L.

VARIÉTÉ

Histoire chronologique de l'électricité [1].

1809. — Sömmering (Samuel Thomas von), savant physiologiste et anatomiste allemand, est le premier qui fit usage du courant voltaïque pour la transmission des signaux télégraphiques à distance.

Ses deux premiers appareils, le modèle original et le modèle perfectionné, furent construits presque en même temps, du 9 juillet au 6 août 1809. C'est avec ce dernier qu'il fit ses premiers essais pratiques de transmission à une distance de 300 m. Le succès de cette expérience le déterminait peu de temps après à présenter son appareil à l'Académie bavaroise des Sciences. Ce télégraphe reposait sur le principe de la décom-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 321 et 370, 7 et 21 août 1897.

position de l'eau par le courant et avait autant de fils qu'il y a de lettres dans l'alphabet plus dix pour la série des chiffres. Au transmetteur, ces fils étaient reliés à autant de petites tiges en or logées dans des petits tubes en verre plongeant dans un réservoir à eau acidulée; au récepteur, ils se rattachaient à des petits cylindres de cuivre contenus dans un réservoir plat muni de petits regards vitrés en face de chacun d'eux et au-dessus desquels étaient inscrits les 35 caractères. La pile étant mise dans le circuit, dès qu'on appuyait sur l'une des tiges d'or correspondant à une lettre, il se formait un dégagement de gaz autour du cylindre porteur de la même lettre au récepteur. Il suffisait, pour déchiffrer les dépêches, de noter successivement les dégagements de gaz que l'on apercevait par les trous vitrés.

Le télégraphe de Sömmering fut apporté en France par M. Jean Larrey, chirurgien en chef des armées de France, qui le présenta à l'Académie le 5 décembre 1809. D'aucuns ont prétendu, le Dr Hamel en particulier (1), que l'Académie avait chargé une commission composée de Biot, Carnot, Charles et Monge, d'étudier cet appareil, mais selon toute probabilité, il n'a jamais été dressé de rapport.

Dans l'année 1810-1811, Sömmering apporta quelques modifications à son appareil. Le nombre des fils fut réduit à 27 pour un même nombre de signaux. Chacun d'eux était isolé par une épaisse de gomme laque puis par un guipage en soie. L'ensemble des 27 fils était ensuite toronné pour ne former qu'un seul câble que l'on enduisait de gomme laque avant de le recouvrir d'une tresse protectrice.

Par suite de la suppression des 8 fils conducteurs, les dispositifs des organes de transmission et de réception eurent à subir quelques modifications. Sömmering imagina aussi un système avertisseur qui se composait d'une sonnerie qu'une accumulation de gaz mettait en mouvement.

(1) *Journal of the Franklin Institute*, t. XXXVIII, p. 398; 1859.

Un russe, le comte Ieroslas Potocki, acheta un de ces appareils et s'en fut à Vienne pour le présenter à l'empereur Francis Ier. Un autre fut expédié à Genève, où résidait William Sommering, fils de l'inventeur, pour être montré aux savants de l'Université de cette ville parmi lesquels étaient De la Rive et Auguste Pictet.

C'est en 1812 que l'inventeur de ce télégraphe fit les derniers perfectionnements qui lui permirent de décupler la distance de transmission : de 300 mètres qu'elle était elle atteignit 3 kilomètres (1).

1810. — Prechtl (Johann-Joseph), grand mathématicien et chimiste allemand, directeur de l'École des Arts et Navigation de Trieste et professeur à l'Institut Polytechnique de Vienne, est l'auteur de très intéressants articles sur l'électricité, le magnétisme, etc., qui furent publiés dans les *Annalen der Physik*, de Gilbert du tome XXXV de l'année 1810 au tome LXVIII de l'année 1821, ainsi que dans d'autres publications scientifiques (2).

D'après Figuier (3), c'est au professeur Prechtl qu'on est redevable d'avoir dissipé

(1) Dr Hamel, *Cooke*, 2e édit., p. 7. — Sömmering, Description d'un télégraphe électrochimique (publiée par W. Sömmering dans *Der Elektrischer*, etc.; Francfort, 1863). — Noad's *Manual*, p. 751; Londres, 1859. — Fahie, *Hist. of Elect. Tel.*, p. 230-234; Londres, 1884. — Dr Hamel, *Journal of the Soc. of Arts*, p. 453; 1859. — Cooke, t. VII, p. 595-599 et 605-610, 1859. — Du Moncel, « Exposé, etc. », t. III. — *Comptes rendus*, t. VII, p. 81; 1838. — De Bow's *Review*, t. XXV, p. 551. — Highton, *Elect. Telegraph.*, p. 39. — Harris, *Galvanisme*, p. 35. — Sturgeon, *Annals of Elect.*, t. III, p. 447; mars 1839. — Hibbard, *Ev.*, p. 31. — Gould, p. 68. — Pour la description des appareils de Sömmering et celle des premières expériences voir : *Denkschr. Münch. Akad.*; 1809-1810. — Schweigger, *Journal*, t. XX, p. 217-240. — Poggendorff's, *Annalen*, t. CVII, p. 644-647. — *Smithsonian Report*, p. 269-271; 1878. — *Journal of the Franklin Inst.*, t. XXI, p. 330-332. Prime, *Life of prof. Morse*, p. 263-275; 1875.

(2) Gehlen's *Journal fur Chemie*, Phys. und Mineralogie, t. V à VII.

(3) Figuier, *Expos. et Hist.*, t. IV, p. 433; 1857.

les ténèbres qu'environnaient encore les théories de la distribution et de l'équilibre électrique dans les piles voltaïques et d'avoir démontré leurs principes mieux encore que l'avait fait un autre savant physicien, le professeur Jaeger.

Parmi les nombreux mémoires qu'il publia jusqu'en 1830, le plus important est celui qui traite de l'état fondamental des phénomènes magnétiques produits par les fils conducteurs et des charges magnétiques transversales (*Uber der transversalmagnetismus*, etc.....). Ce mémoire a été reproduit *in extenso* dans le *Schweigger's Journal f. Chem. und Phys.* (¹) et dans les *Annals of Philosophy* du Dr Thomas Thomson (²). Dans une analyse de ce mémoire, Sturgeon dit (³) que M. Prechtl a *essayé* de démontrer de quelle façon les fils conducteurs agissaient sur une aiguille aimantée mais que les diagrammes dont il se sert sont de nature trop complexe pour être analysés (⁴).

1810. — Quoique nous nous soyons imposé de ne citer dans ce travail que les faits ayant trait à l'électricité, nous devons, dans l'intérêt du lecteur que les choses de télégraphie intéressent, y introduire une petite digression, ayant pour objet « la communication rapide des signaux à distance par la télégraphie pneumatique ».

C'est en effet dans le courant de l'année 1810 qu'un ingénieur anglais, M. G. Medhurst prit un brevet pour « une nouvelle méthode sûre et rapide pour transporter les lettres et petits colis à l'aide de l'air », méthode qui a été décrite dans le *Telegraphic Journal*, de Londres. Ce même journal ajoute que cette méthode n'a reçu d'application pratique qu'en 1854 par l'initiative prise par M. Latimer Clark qui fit poser une conduite souterraine, formée de tuyaux d'environ 4 cm de diamètre, entre le bureau central de la Electric Telegraph Company, à Lothburg, et le London Stock Exchange. Plus tard, en 1858, ce mode de communication ayant donné de bons résultats, la conduite fut prolongée jusqu'à Mincing Lane et fonctionna par le vide jusqu'en 1860, époque à laquelle M. Varley introduisit l'emploi de l'air comprimé. Dès lors le transport des messages s'effectua d'un sens par la poussée de l'air et dans l'autre par le vide.

Ce système a subi de notables modifications avant son introduction à Paris en 1865, et à Berlin quand MM. Siemens l'appliquèrent pour la première fois entre la Bourse et le bureau central télégraphique de cette ville.

1811. — POISSON (Siméon-Denis), savant physicien et mathématicien français, communique à l'Institut et publie à Paris, sous le titre de *Traité de mécanique*, ses observations sur les phénomènes électriques, qui constituent une nouvelle branche et un des meilleurs traités élémentaires de physique mathématique. Un de ses biographes remarque que le principal but de Poisson était d'explorer toutes les branches de la physique à l'aide des nouvelles et puissantes méthodes d'investigation qu'une école plus moderne que celle de Lagrange et de Laplace venait d'ajouter aux mathématiques pures.

Comme l'a fait observer sir David Brewster dans son article *Electricity* (¹), et Noad. dans son *Manual* (²), Poisson a adopté comme base de ses recherches la théorie des deux

(¹) *Schweigger's Journal*, etc., t. XXXVI, p. 399-440.

(²) *Th. Thomson's Annals*, etc., t. IX, p. 1 à 6; juillet 1822.

(³) *Scientifics Researches*, t. IV, p. 433; Bury, 1850.

(⁴) Voir POGGENDORFF, *Biograph. Liter.*, t. II, p. 519-520. — LAROUSSE, *Dictionnaire Univer.*, t. XIII, p. 45. — CATAL, *Scientific*, *Pap. Roy. Soc.*, t. V, p. 3-5. — GEHLEN'S *Journal*, t. VII, p. 141-282, t. VIII, p. 297-318. — GILBERT'S *Annalen*, t. XXXV, p. 28-104 (1810); t. XLIV, p. 108-111 (1813); t. LXVII, p. 81, 108, 221, 222, 259, 276 (1821); t. LXVIII, p. 104-106, 187-206 (1821) et t. LXXVI, p. 217-228 (1824). — BRUGNATELLI, *Giornale*, etc., t. III, p. 477-486. — KASTNER, *Archiv. natur.*, t. II, p. 151-167; 1824. — WIEN, *Jahrb. Pol. Inst.*, t. XIV, p. 144-160; 1829. — POGGENDORF, *Annalen der Phys. und Chemie*, t. XV, p. 223-238; 1829.

(¹) *Encyclopedia Britannica*, t. VIII, p. 531.

(²) NOAD'S *Manual*, p. 15-16; Londres, 1859.

fluides proposée par Symmer et Dufaye, avec les modifications et additions suggérées par les recherches de Coulomb. Il établit les théorèmes déterminant la distribution du fluide électrique à la surface de deux sphères conductrices, placées à des distances variables, théorème dont l'exactitude a été établie expérimentalement par Coulomb. La conséquence de cette théorie est que le fluide s'accumule aux arêtes, aux angles, aux pointes, et que sa force expansive y est plus grande en ces endroits, excède la pression atmosphérique et qu'il s'échappe, tandis qu'aux autres points de la surface le fluide est retenu.

En ce qui concerne ce dernier point, Mary Sommerville remarque « qu'il ne peut y avoir de doute que les phénomènes de magnétisme, comme ceux d'électricité, peuvent être expliqués par l'hypothèse d'un seul fluide éthérique, qui est condensé ou accumulé au pôle positif et manque au pôle négatif; malgré cela, Poisson a adopté l'hypothèse de deux fluides très peu denses, recouvrant les particules de fer et ne pouvant s'en séparer. Que les molécules de ces fluides se trouvent dans les molécules mêmes du fer ou qu'elles n'en remplissent que les interstices, il est impossible d'en fournir la preuve matérielle. Mais ce qui est certain, c'est que la somme de toutes les molécules magnétiques ajoutée à la somme de tous les espaces, occupés ou non, qui les séparent, doit être égale au volume total du corps magnétique... Poisson a aussi prouvé que le résultat de l'action de tous les éléments magnétiques d'un corps aimanté est une force équivalente en action à une couche très mince répandue sur toute la surface extérieure du corps et formée par deux fluides, l'austral et le boréal, qui en occupent des parties différentes; en d'autres termes : les attractions et répulsions exercées extérieurement par un corps aimanté sont exactement les mêmes que si elles procédaient directement des minces couches de fluide qui le recouvrent. De plus, ces deux fluides étant sur chaque partie du corps en proportions égales et distribuées de telle façon que leur action totale à l'intérieur soit égale à zéro, on en conclut que si la force résultante est la différence de deux polarités, son intensité devra être notablement inférieure à celle de l'une d'entre elles (1).

Les Mémoires de l'Institut pour 1811 contiennent les savants mémoires de Poisson, relatifs à la distribution de l'électricité à la surface des corps et à l'épaisseur des couches du fluide.

L'électricité est entièrement confinée à la surface des corps, ou, si elle pénètre leur masse, la profondeur de la couche est inappréciable; de sorte que la quantité que ces corps sont susceptibles de recevoir ne dépend pas de leur volume, mais bien de la forme de leur surface. Considérant un corps creux, la surface extérieure pourra posséder de l'électricité positive et la surface intérieure de l'électricité négative, alors le milieu intermédiaire sera dans un état de neutralité parfaite (2).

Dans son étude des théories du magnétisme, sir David Brewster fait allusion aux magistrales investigations de Poisson qui, dit-il, semble être le premier qui ait conçu l'idée des mesures magnétiques absolues. Dans un court et intéressant article inséré dans les dernières publications de la *Connaissance des temps* pour 1828, il décrit la méthode pour obtenir la valeur de H en mesure absolue. Ses deux premiers *Mémoires sur la théorie du magnétisme* ont paru dans les *Transactions* de l'Académie Royale de Paris (3) et furent suivis de son mémoire sur le magnétisme en mouvement (4).

Dans ses *Recherches sur le diamagnétisme* (5), le Dr Tyndall fait de fréquentes allu-

(1) J.-C. Wilcke, *Conn. of the Phys. Sci.*, t. XXX, p. 308; 1846.

(2) J. Farrar, *Elem. of Elect. Magn. and Electro-Magn.*, p. 50; 1826.

(3) T. VI, p. 441.

(4) Voir aussi *Edinb. Journal of Science*, t. I. p. 336-358 et 373; t. V, p. 328-330. — John Farrar, *Elem. of Magn. and Elect.-Magn.*; 1826.

(5) *Researches on Diamagn.*, p. XIII et 66-67; Londres, 1870.

sions aux prévisions de Poisson, relatives au magnétisme des cristaux. En mars 1851, écrit-il, sir William Thomson, maintenant Lord Kelvin, a appelé l'attention sur un exemple très remarquable d'intuition théorique de la part de Poisson, en ce qui concerne la possibilité d'une action magnéto-cristalline, et a fait à ce sujet l'observation suivante : Poisson, dans sa théorie mathématique de l'induction magnétique, fondée sur l'hypothèse des fluides magnétiques « se mouvant parmi les éléments magnétiques infiniment petits », ne perd pas de vue la possibilité que ces éléments magnétiques ne soient pas sphériques et disposés symétriquement dans les substances cristallines, et il remarque qu'une portion sphérique finie d'une telle substance se comporterait différemment dans le voisinage de l'aimant, selon l'orientation qu'on lui donnerait. Mais « de pareilles conditions n'ayant pas été observées », il exclut la considération de cette structure dans ses recherches et se borne à étudier le cas où la matière est formée de sphères ou d'éléments non disposés symétriquement. Or, une récente découverte de Plucker ayant établi l'existence de ces phénomènes, l'importance d'un développement de la théorie dans ce sens est devenue évidente (1).

1811.— SCHWEIGGER (Johann Salomo Christoph) distingué chimiste de Halle (Allemagne), publie dans son *Journal für Chemie and Physik* le mémoire de Sömmering relatif à son télégraphe électrochimique ainsi qu'une note dans laquelle il consigne ses opinions sur l'emploi pratique de cet appareil. Ayant démontré les inconvénients de l'emploi d'un aussi grand nombre de fils conducteurs pour la transmission des signaux, il suggère l'idée de les remplacer par deux fils seulement et de rendre possible la transmission d'un même nombre de signes en employant deux piles de puissances inégales. On ferait donc, à l'aide de ce dispositif, des signaux conventionnels en alternant les lancés de courant faible et fort qui produiraient au récepteur des dégagements plus ou moins intenses de gaz. Il propose aussi de remplacer la sonnerie d'avertissement dont le fonctionnement est plus ou moins sûr par un pistolet à amorce électrique qu'enflammerait le courant de la batterie.

Deux mois après la célèbre découverte d'Œrsted, qui fut annoncée en juillet 1820, Schweigger lut à Halle une note relative à un important perfectionnement fait dans son *indicateur galvano-magnétique* (1). Celui-ci était formé d'un électroscope employé pour indiquer l'attraction et la répulsion de l'électricité ordinaire de frottement au lieu de la balance de Coulomb. Son nouvel appareil était le résultat de sa découverte qu'en enenroulant un fil isolé plusieurs fois autour de l'aiguille aimantée, le pouvoir déviateur du courant voltaïque augmentait avec le nombre de tours. En faisant allusion à la découverte d'Œrsted, l'abbé Moigno dit qu'un fil conducteur enroulé sur lui-même et formant 100 tours, produit avec le même courant un effet 100 fois plus grand qu'un seul tour de fil; pourvu que le fluide suive le fil sans passer latéralement d'une circonvolution à une autre (2).

Seebeck fait observer que cette appréciation de l'abbé Moigno est un peu exagérée et

(1) Voir : *English Encyclopedia*, t. IV, p. 899. — *Phil. Mag.* ; 1851. — *Roy. Soc. Catalogue of Scientific Pap.*, t. IV, p. 964-969. — G.-M. RACAGNI, *Sopra un Memoria....*, 1839; JOHNSON'S *Encyclop.*, t. III, p. 217 ; 1878. — *Eighth Britannica*, t. XV, p. 98 ; *Ninth. Brit.*, t. XV, p. 241-249. — *Annales de Chimie*, février 1824. — *Le Globe*, n° 87. — HARRIS, *Magnétisme*, p. 131. — WHEWELL, *Hist. of the Inductive Sciences*, t. II, p. 43, 208, 209, 222, 225 ; 1859. — Sir William THOMSON'S *Works*, THOMAS THOMSON, *An outline*, etc., p. 351 ; 1830. — *Mem. de l'Acad. des Sciences*, 1824, 1826, 1838. — *Société Philomatique*, 1803, 1824, 1826. HUMBOLDT'S *Cosmos*, t. I, p. 104, 105, 130, 165-169 ; Londres, 1849. — N. BOWDITCH, *Of a Mistake which exist in the calculation of M. Poisson relative to the distribution of the electric matters upon the surfaces of two globes* (*Mem..... Sc. Math..... de France*, t. XII, et *Mem. Amer. Acad. O. S.*, t. IV, Ire partie, p. 307).

(1) *Literary Gazette*, n° 296 ; nov. 1820. — GEHLEN'S, *Journal für Chemie*, etc., p. 206-208 ; 1808.

(2) KUHN, *Ang. Elek. Lehre*, p. 514.

qu'en réalité 100 tours de fils n'exercent pas une action 100 fois plus grande qu'un seul, car il faut tenir compte de la résistance que l'on a introduit dans le circuit en même temps que les tours additionnels, ce qui abaisse notablement l'intensité du courant qu'on y lance.

Schweigger donna à son nouvel appareil le nom de *multiplicateur électromagnétique* ou *galvanomètre multiplicateur*. Cet appareil perfectionné par Nobili, devint indispensable pour la mesure du courant, et par les derniers perfectionnements dus à Sir William Thomson et à Du Bois-Reymond, il est devenu l'instrument le plus parfait et le plus délicat pour la mesure de l'intensité.

Un galvanomètre d'une forme un peu différente, ayant une bobine verticale et employant une aiguille non aimantée, fut peu de temps après imaginé indépendamment de l'invention de Schweigger, par Johann Christian Poggendorff, de Berlin, et comme il en publia la description avant Schweigger, il est quelquefois considéré comme le véritable inventeur. Il avait appelé son appareil un *condensateur galvano-magnétique*.

P.-F. MOTTELAY.

BIBLIOGRAPHIE

Metodi e strumenti di misura della differenza di fase fra due correnti alternative. (Méthodes et instruments sur la mesure de la différence de phase entre deux courants alternatifs), par RICCARDO ARNO. — *Union typographique de Turin.* Prix : 3 francs.

L'auteur a cherché à réunir en une cinquantaine de pages les principales méthodes et les instruments employés pour la mesure de la différence de phase entre deux courants et par suite entre une différence de potentiel et un courant. Outre la partie descriptive, le livre contient une partie critique suivie naturellement de méthodes spéciales proposées par l'auteur, et qui font que ce livre répond absolument au programme posé par l'Institut de Lombardie pour l'obtention du prix fondé par Cagnolai et dont nous reparlerons plus loin. Ajoutons toutefois que M. Arno ne dit pas s'il a réellement concouru.

L'ordre suivi par l'auteur est le suivant :

1° Méthodes basées sur l'emploi du contact instantané; la description de la méthode électrochimique de M. Janet est classée dans cette première catégorie en tant que méthode graphique;

2° Instruments reposant sur l'emploi d'appareils vibrants : phasemètre à fils de Stuart Smith, phasemètre basé sur l'emploi du téléphone de Frolich.

3° Méthodes utilisant l'inscription de l'ellipse résultant de la composition de deux mouvements sinusoïdaux : phasemètre de Puluy et d'Engelmeyer, phasemètre de Trowbridge, phasemètre de Ferraris (inédit).

4° Procédés basés sur l'emploi d'ampèremètres ou de voltmètres : méthode des trois voltmètres; méthodes des trois ampèremètres, procédé du triangle des flux de l'auteur.

5° Méthodes de mesure directe de décalage, procédés des trois électrodynamomètres, phasemètres de MM. Claude et Hess, phasemètre de l'auteur, phasoscope de Ferraris.

Un chapitre est consacré aux synchroniseurs ou indicateurs de phase; enfin le phasemètre de M. Dolivo Dobrowolsky fait l'objet d'un chapitre spécial ;

En résumé, l'opuscule de M. Arno est présenté sous une forme très concise et résume bien l'état actuel de la question de la mesure de la différence de phase.

F. GUILBERT.

Sulla misura delle differenze di fase nelle correnti alternative. (Sur la mesure de la différence de phase dans les courants alternatifs), par A.-G. ROSSI. — *Draghi*, éditeur, Padoue. Prix : 5 fr.

Le programme auquel répond ce livre est le suivant : « Faire l'histoire critique des méthodes et instruments employés jusqu'ici pour mesurer les différences de phases en y joignant quelques recherches personnelles ».

Le rapport de la commission nommée par l'Institut des Sciences de Lombardie nous apprend que deux mémoires ont été présentés et que c'est celui de M. Rossi qui a obtenu le prix de la fondation Cagnola.

Le livre de M. Rossi est un peu plus développé que celui de M. Arno; la partie critique y est beaucoup plus étendue et les travaux personnels plus importants.

Dans un chapitre introductif l'auteur rappelle quelques définitions et fait une courte digression de la propagation des ondes alternatives le long des conducteurs inspirée d'un travail analogue de MM. Bedell et Crehore [1].

Le second chapitre traite d'abord du synchronisme des alternateurs, puis de l'importance de la différence de phase entre une tension et un courant et des procédés pour la déterminer. en se basant sur les mesures de de l'énergie absorbée et fournie; c'est-à-dire les méthodes de Ferraris ou Blakesley et les méthodes analogues. Les différents procédés de synchronisation sont également étudiés dans ce chapitre.

Le troisième s'occupe plus spécialement de la détermination au décalage pour l'inscription des courbes périodiques: procédé de Joubert, oscillographe Blondel, etc.

Dans le chapitre quatrième sont traitées les méthodes basées sur la composition de deux mouvements soit optiquement, appareils de Puluy et d'Engelmeyer, soit acoustiquement, soit électromagnétiquement, appareils de Claude, dont l'auteur propose une modification importante, appareil de l'auteur basé sur l'emploi d'un oscillographe Blondel, méthode de Korda, méthode de Hess, autre appareil de l'auteur.

Quatre notes terminent cet intéressant ouvrage, l'une sur les méthodes électromagnétiques de la différence de phase, une seconde sur le procédé des voltmètres, une troisième sur les méthodes électromagnétiques et enfin une quatrième ajoutée après coup et donnant la description complète de l'appareil de l'auteur basé sur l'emploi d'un oscillographe Blondel.

Le livre de M. Rossi, comme on le voit par cette courte analyse, n'est pas moins intéressant que celui de M. Arno et est appelé à un succès certain.

F. GUILBERT.

[1] BEDELL et CREHORE. *Étude analytique et graphique des courants alternatifs*, traduction française par Barthon. J. Carré et C. Naud, éditeurs, 3, rue Racine.

CORRESPONDANCE

Sur la mesure des coefficients de self-induction.

Cher Monsieur,

Je vous serais très obligé de vouloir bien accueillir une réclamation de priorité. *L'Éclairage Électrique*, comme d'autres Revues, contient quelques notes dont les auteurs attribuent à M. Pirani, une méthode de mesure d'un coefficient de self-induction avec l'emploi de la formule : $L = CR^2$.

M. M. Pirani a publié un mémoire sur ses mesures de coefficients de self-induction et d'induction mutuelle dans l'*Elekrotecknische Zeitschrift* de juillet 1887. Il connaissait, comme il le déclare dans ce mémoire, une méthode de réduction à zéro décrite par moi dans les *Annales Télégraphiques* de mai-juin 1885 (v. p. 232 à 234). Je ne citerai que les lignes suivantes (p. 234) :

« $$\frac{L}{L - C\rho^2} = \frac{\alpha}{\alpha_1}. \qquad (1)$$

Si l'on s'arrange de manière à avoir $\alpha_1 = 0$, en faisant varier C par exemple au moyen d'un condensateur gradué, on aura :

$$L = C\rho^2; \qquad (2)$$

c'est là une méthode de réduction à zéro, que l'on peut appliquer soit avec le galvanomètre différentiel, soit avec le pont de Wheatstone. »

C'est précisément cette méthode que M. Pirani a employée avec le pont de Wheatstone en se servant de la formule (2). Il dit, il est vrai, que j'ai proposé simplement de modifier une méthode dont le principe serait donné par Maxwell. C'est là une erreur de mémoire de M. Pirani; il n'y a qu'à lire les pages 232 à 234 pour s'en convaincre. Je n'ai rien emprunté ni à Maxwel, ni à aucun auteur.

Nous avons publié, M. de la Touane et moi, dans le *Bulletin de la Société internationale des Électriciens* de juillet 1886 une série de mesures de coefficients de self-induction et d'induction mutuelles, faites presque entièrement par M. de la Touane. Les coefficients L étaient mesurés par la méthode ci-dessus. Pour les coefficients M, la méthode de réduction à zéro que j'avais imaginée est décrite dans le *Bulletin*. La formule de M est :

$$M = CR_1R_2. \qquad (3)$$

Du reste nos expériences étaient faites tantôt par réduction à zéro, tantôt par deux élongations α et α_1 (formule 1), l'une ou l'autre de ces méthodes étant à employer suivant les ressources dont on dispose.

M. Pirani a cité dans un mémoire nos expérience, qu'il a lues dans les *Annales télégraphiques* (9 décembre 1886). La première figure de ce mémoire représente un pont de Wheatstone, avec la combinaison $L - CR^2$ qu'il s'agit d'annuler en faisant varier C. La seconde figure, identique à la figure 3 du *Bulletin des Électriciens*, quoique à première vue elle n'ait point le même aspect, représente le dispositif pour mesurer M en annulant la combinaison $M - CR_1R_2$. M. Pirani mentionne aussi la méthode analogue de M. Carey-Foster pour mesurer un coefficient d'induction mutuelle. Cette méthode qui a fait l'objet d'une *note* lue par l'auteur devant la *Physical Society* le 27 novembre 1886, diffère très peu de la nôtre. Il ne m'appartient point de juger entre les deux.

Un *Traité de mesures électriques*, qui fait autorité aussi bien en France qu'en Belgique, a classé en première ligne, pour les mesures de self-induction, la méthode *qu'il a attribuée* à M. Pirani. Comme méthode de « comparaison d'un coefficient d'induction mutuelle avec une capacité », il a donné la méthode de M. Carey-Foster. On sait quel succès rapide ces deux méthodes ainsi présentées ont obtenu en peu de temps auprès des électriciens,

VASCHY.

CHRONIQUE

L'éclairage électrique des trains. — Dans les numéros du 31 juillet et du 7 août du *Genie civil*, M. F. SCHIFF publie une longue étude sur les dispositifs adoptés, essayés ou proposés pour l'éclairage électrique des trains. Bien que nos lecteurs aient été tenus au courant des nombreuses tentatives faites pour développer cette application de l'électricité, nous profiterons de la publication des articles de M. Schiff pour indiquer les résultats obtenus.

L'*utilisation du mouvement des essieux* pour la mise en marche d'un dynamo destinée à fournir le courant d'éclairage parait a priori la solution la plus simple et pour cette raison a été bien souvent essayée. Toutefois elle ne parait être employée actuellement que sur la ligne anglaise de Londres-Brighton, où 400 voitures sont munies du dispositif suivant imaginé par M. Langdon : Deux dynamos montées sur le même axe sont actionnées par une courroie qui emprunte son mouvement à l'essieu. Des deux dynamos l'une sert à l'éclairage, l'autre de régulateur. Une batterie d'accumulateurs fournit le courant d'excitation aux électros des deux dynamos, par deux circuits distincts. De plus, l'armature de la dynamo-régulatrice est reliée en série à un électro-aimant spécial de la dynamo-lumière, et la force électromotrice développée par la dynamo-régulatrice agit en sens inverse de la batterie. Quand le train a acquis une vitesse maximum, les électros de la dynamo-lumière sont excités uniquement par l'enroulement provenant de la batterie, enroulement composé d'un fil long et fin. L'enroulement spécial, par contre, ne fournit aucune excitation, car la dynamo-régulatrice tournant à sa vitesse maximum développe une force électromotrice si élevée qu'aucun courant ne peut provenir par cette voie de la batterie. Dès que la vitesse du train diminue, la tension de la batterie l'emporte sur celle de la dynamo-régulatrice, un courant passe à travers son armature et, par conséquent, à travers l'enroulement spécial de la dynamo-lumière; l'aimantation de cette machine se trouve donc augmentée et le voltage s'élève; mais comme la vitesse du train a baissé dans la même proportion, le nombre de tours s'abaisse, de sorte que le voltage final reste constant. Quand le train ralentit par trop sa marche, un régulateur à force centrifuge débraie la dynamo, et

le rembrayage a lieu dès que la vitesse redevient normale.

Parmi les essais faits dans la même voie, M. Schiff signale ceux exécutés en 1886 sur la ligne de Francfort à Fulda et sur celle de Stuttgard à Immendingen : la dynamo était mise en parallèle avec une batterie d'accumulateurs qui la suppléait quand la vitesse tombait au-dessous d'une certaine valeur. Il signale également les essais faits sur les chemins de fer de l'État wurtembourgeois où l'on employait deux batteries, dont l'une servait à l'éclairage pendant que l'autre était chargée par une dynamo mise en marche par l'essieu d'un fourgon. Ces essais n'ont pas été suivis.

Nous rappellerons les essais plus récents et reposant sur le même principe faits en Australie (*L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 94 et t. VIII, p, 191), et en Angleterre (t. VII, p. 240 et t. VII, p. 525); nous ignorons quelle extension a été donnée à l'emploi des systèmes mis à l'épreuve dans ces essais.

L'utilisation de la vapeur des locomotives pour actionner un groupe électrogène placé dans un fourgon ou sur le tender a été essayée en 1884 par la North Western C° suivie bientôt par la Lancashire C°, la Yorkshire C°, et quelques compagnies américaines. Les trains de l'empereur d'Autriche et du tsar possèdent une installation analogue avec une batterie d'accumulateurs qui régularise la lumière.

L'emploi d'une batterie d'accumulateurs centrale alimentant le train entier a été proposé et essayé. Généralement la batterie est séparée en deux parties respectivement placées dans le fourgon de tête et le fourgon de queue; ces deux parties alimentent un seul circuit ou mieux deux circuits distincts, cette dernière disposition permettant de couper le train en deux sans interrompre l'éclairage.

On rencontre des installations de ce genre sur la ligne suédoise de Copenhague à Christiania, ainsi que sur les lignes express danoises dans l'île Seeland. Les accumulateurs suédois sont de la Electrical Power Storage C° ; les lignes danoises emploient le système de Hagen.

Ces dernières comportent 2 batteries de 36 éléments d'une capacité de 80 ampères-heure pour une décharge de 16 ampères Les éléments sont réunis par 18 dans une caisse en bois; chaque élément est placé dans un vase en verre, et une batterie complète est installée dans le fourgon à bagages ou dans un compartiment de 3e classe. Les plaques positives sont rainées (système Tudor); les plaques négatives sont à grille. Les dimensions de ces plaques sont 150×145 millimètres pour une épaisseur de 5 millimètres; la distance entre les plaques est de 8 millimètres, le poids d'un élément est de 20 kilos.

Les deux batteries alimentent deux circuits distincts. Chaque branchement comporte 2 lampes : les 1re et 2e classes ont des lampes de 8 bougies, les 3e des lampes de 5. Sur un tableau placé à proximité de chaque batterie sont montés deux interrupteurs (un par circuit), un coupe-circuit fusible, un ampèremètre, un voltmètre et un commutateur pour 4 éléments de batterie. Les raccords entre wagons sont du système spécial Busse et Brunn.

La consommation moyenne d'un train de 12 à 13 voitures est de 26 ampères. Chacune des batteries fournit 13 ampères, mais une seule est capable d'alimenter le train entier pendant deux heures et demie. Le chargement des batteries se fait dans des gares appropriées, à l'aide de câbles qu'on amène jusqu'au wagon. Cet éclairage fonctionne depuis trois ans environ.

L'emploi d'une batterie d'accumulateurs par voiture, essayé dès 1881 sur une voiture Pullman de la ligne de Londres-Brighton, s'est développé dans ces dernières années. Il est devenu presque général sur la ligne du Jura-Simplon et est appliqué sur la majorité des wagons-poste allemands. La compagnie italienne de Péronne-Milan possède depuis 1888, cinquante-trois voitures éclairées par batteries séparées; la compagnie française du Nord en possède une cinquantaine; la compagnie Dortmund-Gronau a, depuis 1893, vingt voitures et un fourgon; la compagnie autrichienne Kaiser-Ferdinand possède également vingt voitures sur la ligne Vienne-Podwolsczyska ; enfin les compagnies de l'Etat danois, dans le Jutland, de Kaschau-Oderberger en Autriche, du P.-L.-M. en France, font depuis 1894 et 1895 des essais d'éclairage d'après le même système.

Continuant cette série d'articles, M. F. Schiff donne le *Génie Civil* du 14 août, les prix de revient de l'éclairage des wagons par le gaz et par l'électricité.

En prenant 0,57 fr pour le prix du mètre cube de gaz riche, 27 litres pour la dépense horaire d'un bec de 8 bougies et en supposant que ce bec soit utilisé environ 4 heures par jour, on trouve que

la dépense par bec et par heure est de 0,05 fr, y compris les intérêts et l'amortissement. Dans les installations de faible importance, ce prix peut se trouver notablement dépassé; c'est ainsi que sur la ligne de Dortmund-Gronau où 76 becs seulement sont en fonction pendant 2 heures environ par jour, la dépense par bec et par heure s'élève à 0,105 fr.

Des chiffres donnés en 1893 par M. Weyermann, il résulte que sur le réseau Jura-Simplon, la bougie-heure revient à environ 0,005 fr, soit 0,04 fr la lampe-heure de 8 bougies. Sur la ligne Dortmund-Gronau, la lampe-heure de 8 bougies revient à 0,0625 fr, d'après les chiffres donnés par M. Staberow, en 1895. Elle revient à 0,085 fr sur les chemins de fer danois de l'ile de Seeland, à 0,11 fr sur la ligne de Ferrovie-Nord-Milan, à 0,0235 fr sur le chemin de fer de Chesapeake et Ohio, à 0,029 fr sur le chemin de fer du Nord français. D'après Pohl, l'installation d'un wagon-poste allemand revient à 981 fr pour cinq lampes électriques et à 984 fr pour cinq lampes à gaz; les frais d'exploitation d'un wagon de 11 lampes sont de 1 601 fr pour l'éclairage électrique et de 1 687 fr pour l'éclairage au gaz.

On voit donc que les dépenses d'exploitation sont du même ordre pour les deux systèmes d'éclairage. Mais les frais de premier établissement sont plus grands pour le gaz que pour l'électricité. D'après Voigt, une usine de production de gaz pour 158 wagons coûte en chiffres ronds 62 500 fr. Une usine électrique pour le même nombre de voitures ne coûterait guère plus de 31 250 fr et une usine pour 300 wagons n'entrainerait par une dépense de plus de 53 000 fr.

Aussi M. Schiff conclut-il ainsi : sans tenir compte des nombreux avantages que l'électricité présente par rapport aux autres modes d'éclairage connus, les frais, aussi bien d'installation que d'exploitation, sont moins élevés pour ce premier ; il serait donc à souhaiter que les diverses compagnies françaises, imitant en cela les compagnies du Nord et du P.-L.-M. missent également l'éclairage électrique à l'essai sur leurs réseaux. Nous croyons qu'elles n'auraient pas à le regretter, et le voyageur, certes, ne s'en plaindrait pas.

Prix de revient de différents modes de traction des voitures de tramways. — La ville de Liverpool étudie la transformation de son réseau de tramways à chevaux, en tramways à traction mécanique; à ce propos, elle a demandé l'avis de différents ingénieurs, qui ont adressé des rapports à la commission d'enquête. L'un de ces rapports offre un intérêt particulier, son auteur, M. F.-S. Pearson, étant ingénieur de la Compagnie métropolitaine des Tramways de New-York, où le tramway électrique à conducteur souterrain et l'air comprimé ont reçu différentes applications.

M. Pearson estime que les dépenses de traction par voiture-kilomètre, avec différents systèmes seront les suivants; en tenant compte des conditions spéciales à Liverpool :

Conducteur aérien. . . .	0,24 fr	par voit-km.
» souterrain. .	0,27 »	»
Air comprimé.	0,33 »	»

La traction animale coûte actuellement, à Liverpool, 0,47 franc.

Le système à caniveau central entraine une dépense de premier établissement d'environ 80 000 fr plus élevée, par kilomètre, que le conducteur aérien; en outre, les frais annuels d'entretien sont plus élevés avec le premier système qu'avec le second.

Amalgame de calcium électrolytique. — A l'une des dernières séances de la Société chimique de Nancy, M. Férée indiquait les résultats des expériences qu'il a faites sur l'électrolyse des solutions aqueuses des sels de calcium avec une cathode en mercure. Avec une solution concentrée de chlorure de calcium, une densité de courant de 2,5 ampères par cm^2 d'électrode mercurielle, et par l'emploi d'un diaphragme, il obtint un amalgame qui, passé à travers une peau de chamois, laissa un résidu s'oxydant immédiatement à l'air. Un kilogramme de cet amalgame distillé sous une pression de 12 mm donna 12 gr d'un amalgame riche contenant 13 p. 100 de métal. Ce dernier amalgame est d'un gris blanchâtre; calciné dans un courant d'azote, il donne, comme M. Maquenne l'a montré, un azoture de calcium sur la composition duquel M. Ferée se propose de revenir.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. **Samedi 4 Septembre 1897.** **4e Année. — N° 36.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE D'ENGHIEN-SAINT-GRATIEN-MONTMORENCY

Sur les coteaux penchés de Montmorency grimpent à l'assaut les maisons blanches dont l'éclat est encore avivé par le contraste des vertes frondaisons qui les entourent et les égaient. Elles se groupent enfin en une sorte d'agglomération que domine l'église, pressées les unes contre les autres. De ce point élevé, la vue s'étend au loin, arrêtée à l'horizon par un cirque de collines bleues. C'est un panorama enchanteur. Au pied de cette bosselure montagneuse repose la ville d'Enghien, sommeillante au bord de son lac célèbre, avec sa ceinture de calmes retraites et des villas somptueuses du hameau de Saint-Gratien, lieu de séjour charmant. Les communications de ces différentes localités entre elles et avec la gare du chemin de fer d'Enghien à Paris sont pénibles, une grande partie du temps est perdue en courses pédestres et les déplacements ne s'opèrent pas sans une certaine fatigue.

Souvenez-vous aussi qu'Enghien est une station thermale renommée pour ses sources d'eaux sulfureuses.

Le petit chemin de fer d'Enghien à Montmorency, à peine suffisant à ses débuts, pour assurer le transport des habitants de cet endroit, que leurs occupations appellent quotidiennement à Paris, est devenu absolument inférieur à sa destination, dans la saison d'été surtout, depuis que la population de ce canton a grossi dans des proportions inusitées.

La disposition de sa gare à l'extrémité de la ville, la durée relativement longue du trajet, ont provoqué la création de moyens de transport plus rapides, répondant mieux à la satisfaction des intérêts généraux de cette région.

La Compagnie générale de traction a entrepris d'unir la montagne à la plaine. Besogne irréalisable en politique, mais parfaitement possible en industrie.

A l'heure actuelle, en conformité du décret de concession, les tramways électriques circulent dans les rues des localités susdites, où ils apportent le mouvement et la vie.

Dans cette étude, nous suivrons les travaux d'installation et dans leur ordre.

Structure de la voie. — Exactement, elle comporte un développement de 6 436 mètres. Elle a une largeur d'un mètre au roulement. Son profil longitudinal décèle des variétés de déclivités, une principalement est très prononcée, celle de l'Orangerie à Montmorency, qui atteint une inclinaison de 7 cm par mètre. Elle présente des courbes de très petits rayons.

La voie est établie dans les chaussées qui

n'ont subi d'autres changements que ceux qui ont consisté à substituer des matériaux neufs à ceux extraits des mêmes chaussées et jugés inutilisables. Elle est composée de rails à ornière, type Broca, du poids de 36 kg au mètre courant, fabriqués aux aciéries de Denain et Anzin.

Le rail se pose sur forme de sable ou sur un bourrage avec les matériaux de la chaussée, passés au crible; l'écartement est maintenu par des entretoises en fer, espacées de 2 m en 2 m. Exceptionnellement, sur ce réseau, pour tenir compte de l'état du sol, une grande partie de la voie est montée sur traverses en chêne, afin d'éviter les tassements dans les terrains compressibles et les glissements dans les pentes très accusées.

Dans le but d'obtenir une très grande intensité de circulation et de déterminer des départs très fréquents, soit de la gare d'Enghien pour Saint-Gratien ou Montmorency et vice versa, soit pour une combinaison directe de Saint-Gratien à Montmorency, des voies d'évitement ont été ménagées à des écartements successifs de 500 m.

Les aiguilles de croisement sont en acier fondu à lames fixes et à lames mobiles, fournies par les ateliers Massicard, à Saint-Ouen, qui orientent convenablement les voitures aux points de rencontre.

Pour assurer la continuité du circuit électrique dont les rails font partie intégrante, deux fils de connexion en cuivre passant latéralement à l'éclisse, réunit les bouts de rails consécutifs. Les extrémités du fil de jonction sont serties dans des manchons en cuivre qui sont introduits à force dans les trous correspondants percés dans l'âme du rail. Le contact des métaux en présence est intime.

Ligne aérienne. Trôlet. — Le capteur de courant employé est celui de Dickinson. Le mode de suspension du conducteur aérien, par application du système Dickinson, offre de grandes améliorations au point de vue de la simplicité et de l'économie d'installation. Il élimine l'encombrante multiplicité des fils de tension transversaux usités dans les autres méthodes à l'endroit des incurvations de la ligne. Il reporte les installations fixes aussi loin que possible du plan axial de la chaussée. Il existe à Enghien des rejets de ligne à angle droit, des bifurcations se rapprochant beaucoup de cette même ouverture angulaire, déterminant des courbures d'un très petit rayon. L'implantation des poteaux est faite en trottoir, dans une position intermédiaire entre le rail et la façade des maisons.

Les poteaux sont composés de trois tubes d'acier télescopés les uns dans les autres à chaud. Leurs dimensions varient suivant la position occupée en alignement droit ou en courbe. Les joints des parties de tubes imbriquées sont masqués par des bagues en fonte, le sommet est surmonté d'une boule à cimier. Leur hauteur est d'environ 8 m. Ils plongent dans le sol d'environ 1,80 m à 2 m; leur pied est consolidé par un lit de maçonnerie en béton. Leur espacement s'agrandit ou se diminue d'après leur établissement en lignes droite ou curviligne.

Les potences tubulaires fixées d'équerre au faîte de ces mâts sont très courtes, sauf aux endroits des garages où elles s'allongent.

Le fil conducteur a un diamètre de 9 mm. Il est suspendu aux consoles par l'intermédiaire d'isolateurs. Il est tendu parallèlement à la voie parcourue par les véhicules. Cette règle n'est pas absolue, elle souffre des exceptions mettant davantage encore en relief la souplesse du système. Le fil traverse, en effet, quelquefois la voie pour aller s'appuyer sur les potences qui sont reportées sur le trottoir d'en face.

Aux endroits des garages, le fil est suspendu à des appareils spéciaux, sorte d'aiguilles aériennes ayant une certaine affinité de fonctionnement avec les appareils similaires de la voie, qui servent à diriger la poulie du trôlet sur la section de voie qui lui est attribuée.

La pression du trôlet contre le fil conducteur est le résultat de la tension d'un équipage de ressort à boudin agissant sur le bras

libre du levier coudé, et qui a pour tendance de ramener la tige dans un plan perpendiculaire à la voie, lorsqu'elle en est écartée par ses mouvements dans un plan horizontal. Nous ne dirons rien de plus du système Dickinson qui, à ce moment, est très vulgarisé.

Matériel roulant. — Les voitures sont automobiles du type dit symétrique, sans impériale, à deux essieux. Leur capacité est de 40 places. L'intérieur est divisé en deux compartiments séparés par une porte à occultation. Le compartiment de première classe contient 6 places, celui de seconde 18. Chaque plate-forme offre 8 places debout.

Voici les principales dimensions qui les caractérisent :

Empattement des essieux	1,800 m
Longueur totale	8,140
Longueur de la caisse.	5,540
Largeur à la ceinture	2,000
Porte à faux en dehors des essieux . .	3,170
Longueur de la plate-forme.	1,300
Diamètre des roues au roulement. . .	0,840
Hauteur totale au-dessus du rail . . .	3,300
Hauteur de la caisse.	2,460

La caisse du véhicule repose sur le châssis avec interposition de matelas d'isolement en caoutchouc et est fixée au moyen de boulons. Pour démonter, il n'y a qu'à desserrer les écrous de serrage, on sépare ainsi la caisse d'avec son châssis.

Les plates-formes en porte à faux sont consolidées par des tirants assemblés aux longerons du châssis et s'appuyant à l'encadrement du pavillon de la toiture. Elles sont en contre-bas du plancher de l'intérieur, exhaussé pour permettre l'installation des moteurs et des roues. Une seule marche y donne accès, ce qui oblige à créer deux niveaux pour le plancher et la caisse.

Le châssis forme un encadrement constitué par des longerons en fer à I reliés, à leurs extrémités, par des traverses de fer de même profil. Il porte deux moteurs de 25 chevaux chacun à simple réduction, dont les roues dentées se meuvent dans des boîtes à graisse étanches. Le poids total du véhicule à vide est de 6600 kg.

Le freinage s'obtient au moyen d'un frein commandé de la plate-forme, par un levier avec vis à cliquet et une chaîne. Les sabots du frein s'appliquent simultanément sur les bandages des roues.

Les voitures sont éclairées par cinq lampes à incandescence de 100 volts mises en série sur le circuit de distribution de la ligne. Il y en a une pour chaque plate-forme, les trois restantes sont pour l'intérieur.

Le manipulateur-contrôleur de chaque plate-forme permet de diriger et de conduire la voiture suivant toutes les circonstances de la route. De la disposition des circuits électriques établis sous la caisse de la voiture il résulte qu'on peut passer, par la manœuvre du cylindre du contrôleur, par douze combinaisons différentes. Les plus fréquemment employées se réfèrent au réglage de la vitesse et au démarrage qui s'opèrent en mettant d'abord les moteurs en série, puis ensuite en parallèle.

La mise en série des moteurs, au moment du démarrage, réduit de moitié la différence de potentiel agissant sur chacun d'eux et permet de maintenir une faible vitesse. Pour l'accélérer, on intercale les moteurs en parallèle.

Le matériel roulant comporte six voitures en service avec un supplément de voitures de réserve.

Bâtiments de l'usine centrale. — L'emplacement du terrain sur lequel elle est construite est situé en bordure de la rue des Loges. Au point de vue topographique il est éloigné d'environ 2000 m du terminus de la ligne de Montmorency et approximativement de 4000 m du terminus de Saint-Gratien. Il présente à peu près la forme géométrique d'un rectangle.

L'usine génératrice et ses dépendances comprend :

1° Le bâtiment d'administration et les logements ;

2° Le bâtiment de la salle des machines;

3° Le bâtiment de la salle des chaudières;

4° Le bâtiment de la remise des voitures avec ateliers de réparations et magasin;

5° Le dépôt à charbon;

6° Le réfrigérant;

7° Les chalets de nécessité;

8° Les murs de clôture.

La figure 1 donne une perspective générale de la construction, la figure 2 en est le plan d'ensemble.

La profondeur de l'excavation jusqu'à la rencontre d'un sol assez résistant pour asseoir en toute sécurité les maçonneries n'a pas atteint moins de de 2,40 m en contre-bas du niveau du sol de la cour.

La maison d'administration, isolée de l'usine, comporte une superficie couverte de 11,50 m × 12,50 m, non compris l'annexe, avec étage et grenier. Toute la maçonnerie jusqu'au faîtage est en briques rouges, sauf les perrons, le socle et les appuis qui sont en pierres de taille dures. Tous les parements sont jointoyés. La hauteur entre les planchers et les plafonds, tant au rez-de-chaussée qu'à l'étage est de 3 m. La couverture est faite en tuiles de Montchanin; les parties en saillie sont voligées contre les chevrons.

Les maçonneries de la salle des machines et générateurs, de la remise des voitures sont fondées sur pilastres ayant 1 m × 0,80 m à la première assise constituée par du béton; la deuxième assise de ces pilastres ayant 0,80 m × 0,50 m est composée de moellons durs de roche hourdés au mortier de chaux et sable. Ces pilastres sont reliés entre eux par des arcs de 0,30 m d'épaisseur à la clef, de 0,35 m de largeur et de 0,50 m de flèche.

La halle des machines spacieuse, aérée, reçoit le jour par de vastes baies vitrées latérales et en pignon qui y versent à profusion la lumière. Elle occupe une superficie de 21 m en longueur sur 12,50 m en largeur.

La toiture repose sur quatre fermes en fer, système Polonceau, qui s'appuient, à leur retombée, sur des poteaux métalliques scellés dans la maçonnerie des pilastres et reliés entre eux par deux lignes d'entretoises formées de fer en I. Un lanterneau vitré correspond aux trois travées des fermes. La grande porte d'entrée est pratiquée dans le mur du pignon.

Attenante à la salle des machines et au même niveau se trouve la chambre des générateurs ayant 12,50 m de longueur sur 10,50 m de largeur. Les deux fermes de la toiture, du même type que les précédentes, reposent sur des poteaux en fer encastrés dans les pilastres et qui sont communs à la salle des machines d'une part, à la remise des voitures, d'autre part.

Tous les poteaux sont réunis également par deux lignes d'entretoises placées à deux hauteurs. Un lanterneau vitré correspond à une travée. La chaufferie est éclairée par un grand châssis en façade, ainsi que par la porte, sur la cour.

La remise des voitures se compose de deux nefs accotées ayant chacune 10,50 m de largeur sur 18 m de longueur. L'écartement des fermes les unes des autres est de 4,25 m. Celles-ci s'appliquent, pour le côté gauche seulement, sur un mur en maçonnerie de moellons; pour le reste de la construction, sur des poteaux métalliques reliés par des fers en U. Le mur donnant sur la cour est percé de trois grandes baies de 2,60 m de largeur chacune fermées par des châssis vitrés avec panneaux ouvrant vers l'extérieur. Un lanterneau vitré correspond à une travée sur chacune des deux nefs avec saillie de 0,50 à chaque bout.

Le dépôt comprend six voies de remisage des voitures; il y a, en outre, deux voies avec fosse pour réparation et inspection du matériel.

La chape en ciment formant le dallage du sol est posée sur une aire en béton de 0,05 m d'épaisseur composée de gravier et de mortier de ciment.

Le projet est disposé pour permettre l'extension de ce hangar de façon à porter le nombre des voitures remisées à 24.

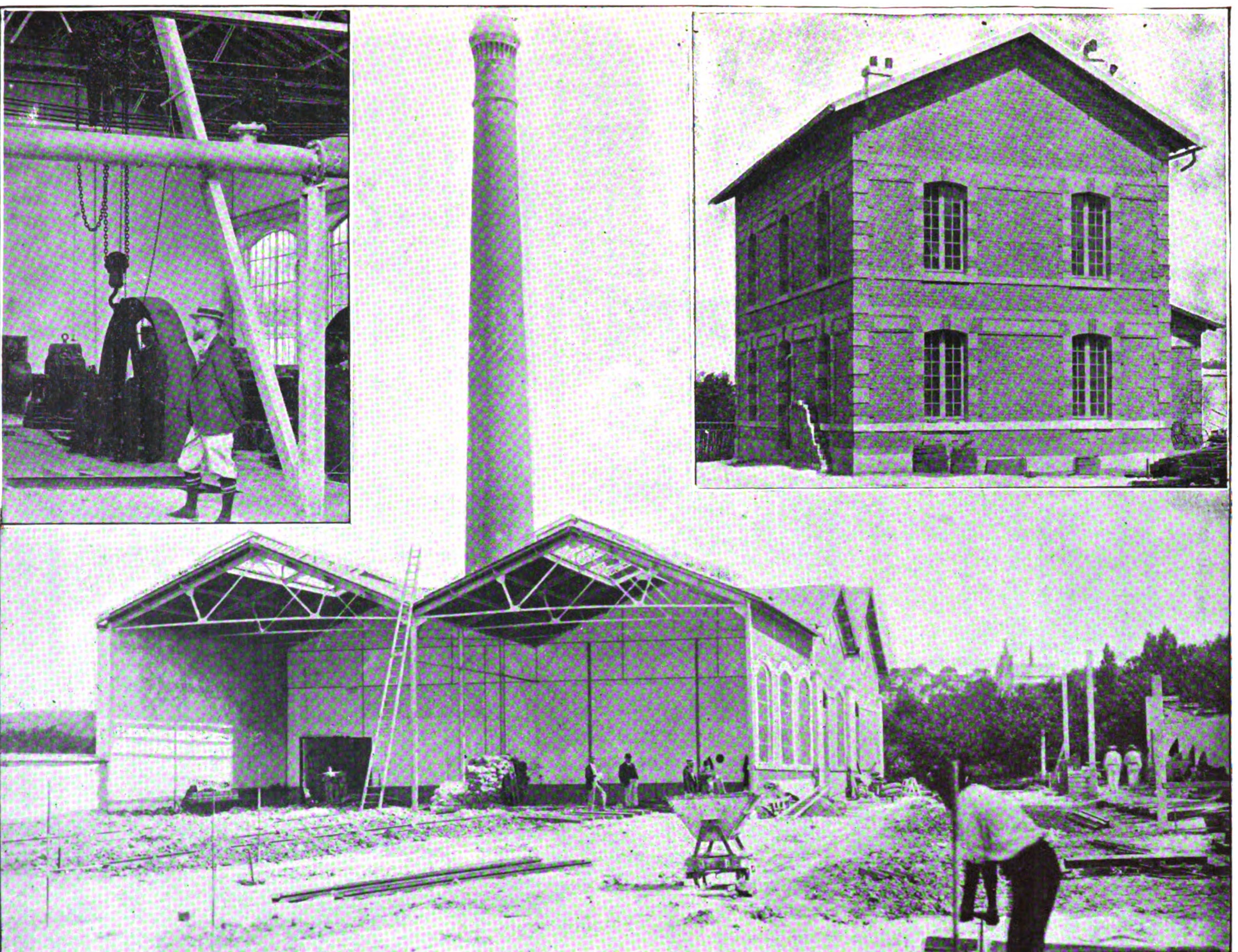


Fig. 1. — Vue des bâtiments de l'usine génératrice et des remises Vue d'un groupe générateur. Vue du bâtiment de l'administration.

La salle des machines et le dépôt des voitures sont voligés, le côté apparent du voligeage est peint.

Les couvertures de tous les bâtiments sont en tuile de Montchanin. Les enduits intérieurs des salles sont en plâtre blanc. Les parois de la halle des machines recevront de la peinture, elle est parquetée en chêne, celle des générateurs possède un dallage en briques.

L'atelier de réparations a 10,50 m de longueur sur 4 m de largeur, son sol est dallé en ciment.

La cour est empierrée.

L'ensemble des bâtiments en briques rouges et blanches appareillées, présente un aspect plus agréable à l'œil que celui de l'usine similaire de la même société à Châlons-sur-Marne.

Dominant le groupe, une cheminée de

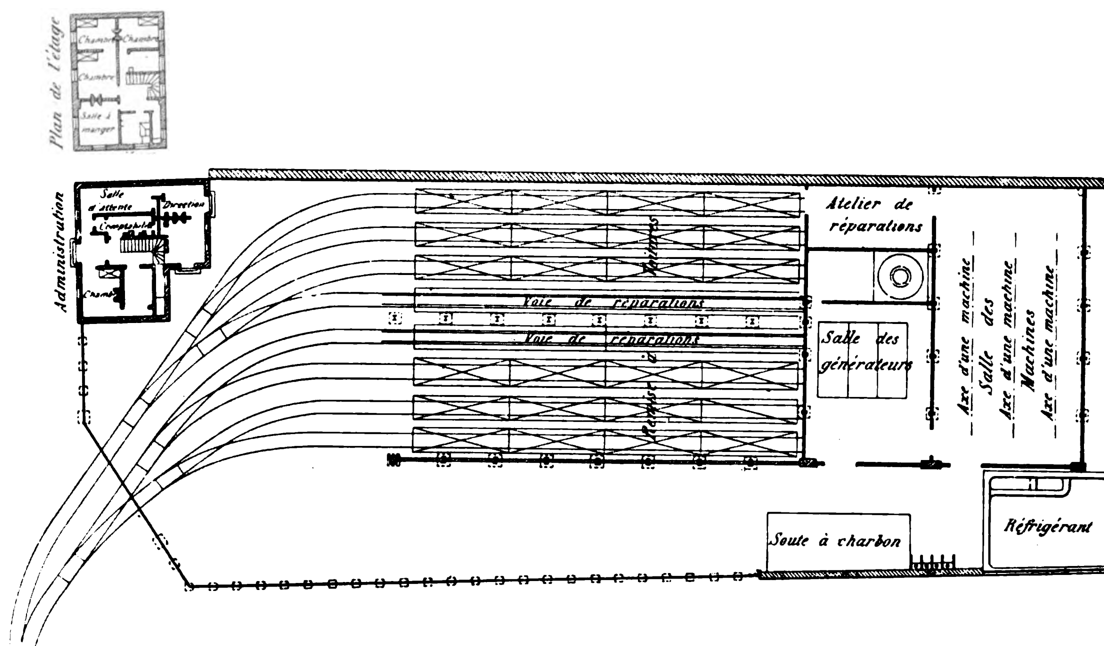


Fig. 2. — Tramway électrique de Montmorency-Enghien-Saint-Gratien. Plan d'ensemble.

36 m de hauteur et de 1,30 m de diamètre au sommet érige sa rigide colonne. Le chiffre de la compagnie de traction (C. G. T.) se retrouve en un lacis de briques blanches qui fleuronnent à mi-hauteur de son fût.

La maçonnerie du réfrigérant est exécutée en pierres meulières et enduite en mortier de ciment Portland à prise lente.

Le terrain occupé par l'usine est enclos dans une ceinture, en partie faite de mur, en partie de treillis losangés en fers ondulés.

Matériel mécanique de l'usine. — La chaufferie consiste actuellement en deux chaudières avec réserve de l'encombrement pour une troisième. Elles appartiennent au type semi-tubulaire : les flammes du foyer enveloppent d'abord de toutes parts deux bouilleurs horizontaux; arrivés à l'arrière les gaz chauds reviennent vers l'avant en léchant les parois du grand corps cylindrique pour retourner enfin à l'arrière par le faisceau tubulaire interne et descendre définitivement dans les carneaux d'aspiration de la cheminée.

La caractéristique de ces chaudières est d'être douée d'un grand réservoir de vapeur, circonstance favorable à une utile dessication de la vapeur produite et, ensuite, en ce sens qu'elles possèdent, en quelque sorte, un volant de fluide élastique dont l'action intervient si heureusement en présence des variations soudaines et étendues de l'énergie

absorbée par le travail accompli sur le réseau.

La surface de chauffe de ces chaudières nous a été indiquée comme étant égale à 120 m carrés chacune, pression de la vapeur 8 kilog.

Confessons que le renseignement que nous livrons tel qu'il nous a été fourni est bien un peu maigre. Dans les chaudières, en effet, il y a certaines dimensions comme la surface de chauffe, la surface de grille, la section des carneaux et de la cheminée qui sont à calculer d'après la quantité d'eau à vaporiser dans un temps donné par un poids de combustible également donné. Les autres parties ont des dimensions qui restent à peu près constantes pour tous les systèmes, parce qu'elles sont nécessitées par des conditions d'entretien, de mise en train, etc.

Évaluer une chaudière en force de cheval, comme on le fait encore fréquemment dans le commerce, suivant la grandeur de surface de chauffe, est une base absolument arbitraire à moins qu'on n'indique en même temps le mode adopté pour la formation et l'emploi de la vapeur, car la quantité de vapeur qu'une chaudière peut engendrer par mètre carré de surface de chauffe dépend de la qualité des houilles employées, de l'activité de la combustion dans le foyer et des dimensions relatives de la grille, des carneaux et de la cheminée. En effet, en activant le feu, on perd une grande quantité de combustible et l'entretien de la machine devient beaucoup plus onéreux, puisqu'il y a une notable quantité de charbon qui s'en va en fumée et qu'il faut laisser échapper les gaz à une plus haute température. D'un autre côté, le travail que l'on peut retirer d'une quantité de vapeur déterminée varie également selon que l'on fait marcher la machine à pleine pression ou à détente, et selon qu'on lui applique ou non la condensation.

Il vaut donc mieux établir les calculs d'après le nombre de kg d'eau à vaporiser par heure.

Les chaudières sont alimentées par deux pompes à vapeur Worthington qui aspirent l'eau dans un réservoir voisin. L'expérience a démontré que l'entretien et les réparations de ces appareils alimentateurs sont les moins coûteux. Ils sont, en effet, simples : le cylindre à vapeur a une distribution par tiroir ordinaire, absolument comme celui des locomotives, mû par un levier qui parcourt toute la course ; les parties mobiles sont toujours en contact éliminant ainsi les chocs résultant des commandes par tocs. Les plongeurs se meuvent à travers un anneau allongé, bien alésé; ils sont placés un peu au-dessus des clapets d'aspiration de manière à laisser en dessous des parties frottantes une chambre dans laquelle peuvent se déposer les matières étrangères. L'eau arrive par la partie inférieure, traverse les clapets d'aspiration, passe autour et à l'extrémité des plongeurs et se rend dans la chambre de refoulement ; le trajet est très direct.

Chaque générateur est muni d'un indicateur magnétique système Lethuillier et Pinel.

Le flotteur qui suit toutes les fluctuations du niveau de l'eau dans le corps de la chaudière, est relié par une tige à un aimant puissant qui monte et descend librement dans une boîte en bronze. A l'extérieur, et contre l'une des faces de cette boîte existe une aiguille indicatrice en acier, privée de tout support mécanique et maintenue seulement par la force attractive de l'aimant. Cette aiguille, protégée par une glace, reproduit toutes les variations du niveau de l'eau sur une échelle graduée en centimètres dont l'indication *manque d'eau* doit correspondre au niveau le plus bas qui puisse être atteint conformément au décret du 30 avril 1880.

Sur la tige qui assemble le flotteur à l'aimant sont fixés deux butoirs qui viennent alternativement, lorsque l'aiguille indicatrice arrive aux dernières limites de sa course appuyer sur les bascules de deux sifflets dont les sonorités distinctes avertissent de la disette ou de l'excès d'eau.

La soute à charbon est située en face de la porte de la chaufferie. Actuellement le

ravitaillement en charbon se fait par tombereaux. Dans un avenir prochain, il s'effectuera par transbordeurs mus électriquement qui prendront les charbons en gare d'Enghien pour les déverser directement sur le carreau de la chambre de chaufferie et dans le dépôt. L'enlèvement des mâchefers, cendres et déchets de combustion s'accomplira par le même procédé.

Salle des machines. — Le plan reproduit dans la figure 3 développe l'économie générale de la salle des machines. Le bassin à eau froide du réfrigérant est simplement amorcé. Elle est aménagée pour recevoir trois groupes de machines à vapeur et dynamos; pour l'instant, il n'y en a que deux d'installés.

Les moteurs ont été construits dans les ateliers de la maison Garnier. Ce sont des

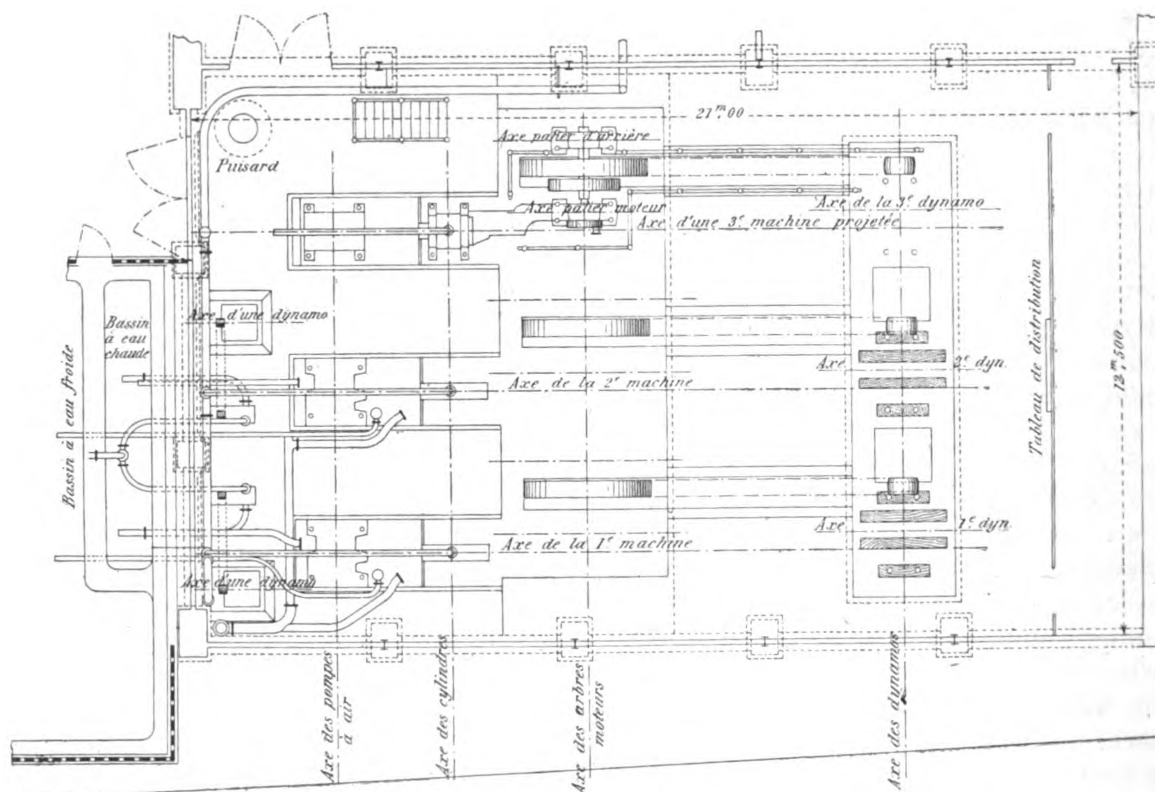


Fig. 3. — Plan de la salle des machines.

machines horizontales d'une puissance de 150 chevaux effectifs chacune à la vitesse angulaire de 160 révolutions par minute, du type Corliss, à condensation et à introduction variable de la vapeur par le régulateur. Elles attaquent la poulie des dynamos par une courroie qui embrasse le volant de la machine qui a un diamètre de 2,800 m. La distance entre l'axe des arbres des moteurs et l'axe des dynamos est de 7,00 m. La hauteur de l'axe des arbres au-dessus du sol des fondations est de 2,685 m. Les courroies se déplacent dans des gouttières réservées dans le plancher de la salle.

Le moteur est garni de quatre tiroirs. Il n'a qu'un cylindre du diamètre de 0,460 m et une course de piston de 0,500 m avec introduction de vapeur de $\frac{1}{6}$ admise aux tiroirs sous la pression de 7 kg.

L'appareil de condensation est formé d'une caisse renfermant à la fois la pompe à air et le condenseur. Un piston plongeur travaillant à simple effet permet, à l'aide d'une

série de petits clapets circulaires en caoutchouc offrant une large section de passage à l'eau et à l'air par une faible levée, d'atteindre un bon vide et de fonctionner à grande allure sans bruit; car la pompe à air marche à la même vitesse que le piston moteur sur le prolongement de la tige duquel elle est montée.

L'appareil de distribution, de détente et de régulation a quelque particularité distinctive.

Ce régulateur, avec excentrique à *course* et à *angle de calage* variables repose sur le principe suivant :

Lorsque la machine est au repos, les orifices d'introduction de vapeur doivent être démasqués totalement et, après la mise en marche, au fur et à mesure de l'accélération de la vitesse, l'introduction de vapeur doit diminuer jusqu'à ce qu'il en passe une quantité suffisante pour maintenir l'allure à a vitesse de régime. En d'autres termes, la course de l'excentrique, étant maximum au départ, doit être minimum à l'arrivée, la machine étant supposée marcher à vide, et toutes les périodes intermédiaires de la distribution, correspondant au travail résistant, se trouvent réparties entre ces deux terminus. Il y a donc intérêt à réduire la course de l'excentrique pour augmenter la sensibilité du régulateur.

Ce régulateur est renfermé dans le corps d'une poulie qui sert de poulie-volant à la machine et de support à l'excentrique de distribution. Il se compose d'un contrepoids, soumis à l'action de la force centrifuge, d'un ressort antagoniste à pincettes et d'un frein modérateur à huile.

Il agit par l'intermédiaire de la barre d'excentrique sur deux tiroirs d'admission de vapeur. Les deux tiroirs d'échappement sont commandés par un second excentrique indépendant du premier. Les déclics de la machine Corliss sont supprimés, et la course des tiroirs d'admission est réglée par la course variable de l'excentrique du régulateur.

Les eaux chaudes expulsées du condenseur parviennent dans un bassin latéral au réfrigérant où elles sont reprises par deux pompes centrifuges placées dans le sous-sol et actionnées chacune par un moteur électrique, construit par M. Hillairet, d'une puissance d'environ huit chevaux, et qui les refoulent dans un réfrigérant système Sée. Ce réfrigérant consiste en une série de tubes échafaudés au-dessus d'un bassin étanche; leurs parois sont percées de trous par où s'échappe et jaillit le liquide chaud qui retombe ensuite en gouttelettes de pluie très divisées et refroidies.

Un pont roulant d'une force de 6 000 kg, monté par la maison Rondet et Schorr dessert l'usine.

Matériel électrique de l'usine. — Le matériel électrique comporte deux dynamos génératrices et deux panneaux formant le tableau de distribution.

Chaque génératrice est actionnée par courroie en cuir par le moteur qui lui est affecté. La poulie calée sur l'induit a 0,674 m de diamètre et 0,410 m de largeur. Elles sont de 100 kw à 650 tours.

La différence de potentiel aux bornes est de 500 volts sans charge. Elles sont hypercompoundées pour une perte de 10 p. 100 en ligne; à pleine charge, elles produisent aux bornes une différence de potentiel de 550 volts. Pour le fonctionnement en parallèle, elles sont pourvues d'un fil égalisateur.

Le tableau de distribution, placé vers la paroi du fond de la salle, est constitué par deux tables verticales en marbre noir, disposées côte à côte, sur lesquelles sont montés les appareils de mesure, de sécurité, de prise de courant, de manœuvre des rhéostats d'excitation.

Le pôle positif des dynamos est en communication avec le fil conducteur aérien, l'autre est relié aux rails.

C'est presque une superfétation d'ajouter que l'éclairage électrique régnera dans les divers locaux de l'usine et de ses dépendances.

Ici se termine la tâche que nous avons entreprise d'exposer, dans ses grandes lignes,

la constitution de cette nouvelle installation de tramways électriques.

Au moment où cet article sera livré à la publicité, le vironnement des volants se fera entendre. L'usine sera en pleine activité.

Il m'est agréable de m'acquitter ici d'une dette contractée envers le personnel de la Compagnie générale de traction en remerciant tout particulièrement MM. les ingénieurs Constant et Saint-Anne, M. l'ingénieur de la voie, M. l'architecte Leboutte qui se sont ingéniés, toujours avec succès, à me rendre moins difficile la partie matérielle de ce travail.

Émile Dieudonné.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

La *commande électrique des ateliers* — principalement celle des ateliers de machines-outils — fait chaque jour des progrès très remarquables, et cet emploi de l'électricité est actuellement assez répandu et, dans certains cas, déjà assez ancien, pour que l'on puisse en donner quelques appréciations fondées sur des chiffres véritablement pratiques.

C'est ainsi que M. C.-H. Benjamin [1] a relevé dans un certain nombre d'établissements américains les chiffres des tableaux de la page ci-contre [2].

Les prix mentionnés dans la colonne 2 du tableau II, comprenant les accouplements et les poulies à des taux variant de 2 à 6 dollars par pied courant de transmission : (30 à 90 fr le mètre.) Le prix des courroies simples et de 9 à 15 m de long varie de 30 à 135 fr par courroie, suivant leur longueur. Pour évaluer le prix des génératrices et des réceptrices, on a supposé des génératrices d'une puissance de 50 p. 100 supérieure à celle exigée par l'atelier avec ses machines en pleine marche et des réceptrices d'une puissance totale double de celle des génératrices et que l'unité de puissance motrice (génératrices) qui varie de 5 à 10 chevaux pour les ateliers à gros travaux, ne s'abaisse jamais, pour les autres, au-dessous de 2 chevaux. De là, pour le prix des moteurs électriques, l'évaluation suivante :

					Chevaux				
Puissance du moteur . .	2	3	5	10	20	40	50	65	75
					Francs				
Prix par cheval.	325	300	225	175	125	100	85	80	75

La colonne 2 du tableau II donne l'évaluation probable du prix d'établissement des transmissions électriques, non compris les conducteurs, commutateurs et contre-arbres, de même qu'on a négligé, dans la colonne 1, le prix équivalent des contre-arbres et courroies secondaires. La colonne 3 donne l'économie, avec le signe —, et l'excédent de dépense, avec le signe +, des transmissions électriques. On voit, qu'en général, les transmissions électriques coûtent plus cher d'établissement, principalement pour les ateliers où, comme en 10 et 12, les machines sont bien groupées ; mais, dans le cas contraire (n° 4) l'électricité revient moins cher, même d'établissement, et même en l'évaluant, comme le fait l'auteur, un peu trop haut.

Les chiffres de la colonne 4 sont déduits de ceux de la colonne 8 (tableau I), en supposant un rendement total de 0,70 pour l'ensemble des génératrices et des réceptrices. La perte de puissance par les transmissions (colonne 5, tableau II) se déduit de la colonne 9, tableau I, en leur supposant un rendement égal à 90 p. 100 de la puissance des moteurs. L'économie de puissance résultant de l'em-

[1] *Electricity v. Shafting, in the Machine Shop.* Mémoire lu au meeting de l'American Society of Mechanical Enginers, à Hartford (*Engineering News*, 3 juin 1897).

[2] Les tableaux ont déjà été publiés dans le numéro précédent de ce journal ; les considérations qui les accompagnent ici nous ont engagé à les reproduire (N. d. l. R.).

Tableau I

	1 Longueur totale de la transmission.	2 Diamètres des lignes d'arbres.	3 Nombre des courroies.	4 Largeur moyenne des courroies.	5 Nombre des machines.	6 Nombre des ouvriers.	7 Puissance totale.	8 Puissance utilisée par les machines.	9 Absorbée par les transmissions.	10 Puissance utilisée par machine.
	Mètres.	Millimètres.		Millim.			Chevaux.			Chevaux.
1	340	60 à 70 100 à 150	89	100			400	243	157	
2	175	77 à 90	28	150	18	78	74	17	57	
3	170	40 à 77	53	115	43	152	33,6	13,3	55,3	0,310
4	440	40 à 100	92	140	69	80	59,2	11,3	47,9	0,164
5	337	77	141	100	68	300	112	48	64	0,707
6	320	50 à 100	192	100	123	225	168	77	91	0,627
7	225	40 à 44 50 à 76	217	75	250	200	40,4	19,7	20,7	0,790
8	150	50 à 76	355	75	313	226	74,3	34,3	40	0,109
9	300	44 à 63	217	75	258	100	47,2	32,7	24,5	0,881
10	750	50 à 150	521	75	454	400	190	82	108	0,180
11	440	50 à 100	484	75	179	350	107	32,5	74,5	0,181
12	570	50 à 57 63 à 76	486	75	428	320	241	127	11,4	0,296

Tableau II

	Prix de premier établissement		3 Différence des prix d'établissement.	Perte de puissance par les transmissions.		6 Économie par les transmissions électriques	7 Économie en francs par an.	8 Salaires annuels.
	1 transmissions et courroies.	2 génératrices et réceptrices.		4 Électriques.	5 Ordinaires.			
	Fr.	Fr.	Fr.				Fr.	Fr.
1				121	117	0		
2	18 250	35 750	+ 17 500	9	49	40	12 400	195 000
3	18 750	15 000	— 3 750	7	21	14	4 200	380 000
4	37 250	10 000	— 17 250	6	42	36	10 800	200 000
5	38 500	35 000	+ 3 500	24	53	29	8 700	750 000
6	42 750	54 750	+ 12 000	39	74	35	10 500	560 000
7	13 500	21 500	+ 8 000	10	16	6	1 800	500 000
8	20 000	35 000	+ 15 000	17	32	15	4 500	565 000
9	20 000	25 000	+ 5 000	12	20	8	2 400	250 000
10	48 250	90 000	+ 41 750	41	89	48	14 400	1 000 000
11	37 750	35 000	— 1 650	16	64	48	14 400	875 000
12	42 000	125 000	+ 83 000	64	90	26	7 800	800 000

ploi de l'électricité est donnée par la colonne 6 du tableau II, et, en argent, par la colonne 7, en estimant à 300 fr par an le prix du cheval. On voit que cette économie amortirait en un temps variant de 1 à 5 ans le surcroît de dépense d'établissement de l'électricité. Enfin la dernière colonne, qui établit les salaires annuels au taux de 2,500 fr par ouvrier, prix moyen aux États-Unis, montre combien ces dépenses d'établissement et ces économies de puissance sont presque négligeables vis-à-vis de la main-d'œuvre, de sorte qu'une réduction de 2 à 5 p. 100 de cette main-d'œuvre est bien plus importante que l'éco-

nomie de puissance à espérer de l'électricité. Il en résulte aussi que, si l'électricité peut arriver, par la souplesse et l'universalité de son adaptation à réaliser quelque économie de main-d'œuvre ses avantages seront considérablement augmentés.

Dans les ateliers américains de grosses machineries, l'on emploie utilement environ 0,38 chevaux par homme, soit 114 fr par an, au taux de 300 fr par cheval-an, ce qui met le prix de la force motrice à environ 4 1/2 p. 100 de celui de la main-d'œuvre évaluée à 2,500 fr par ouvrier et par an. Dans les ateliers moyens, où l'on compte 0,2 cheval environ par homme, ce taux s'abaisse à 2 1/4 p. 100, parfois à 1 p. 100. En fait, l'*opportunité de l'emploi de l'électricité n'est pas une affaire de rendement mécanique plus ou moins supérieur à celui des transmissions, ni de prix d'établissement, mais surtout une question d'augmentation du rendement de la main-d'œuvre et de la production des machines-outils*.

Or, voici les arguments que l'on peut invoquer, dans cet ordre d'idées, en faveur de l'électricité.

L'électricité permettant de placer les machines dans l'atelier absolument comme on le veut, sans s'inquiéter de leur situation par rapport au centre moteur permet de les disposer et même de les déplacer le mieux possible par rapport à leur travail individuel ou aux travaux successifs que doivent subir les pièces en séries, de manière que ces travaux soient mieux suivis et plus accessibles, avec un minimum de manutention et de perte de temps. Les commandes par l'électricité sont non seulement beaucoup moins encombrantes, moins dangereuses et plus propres que les transmissions, mais aussi d'une souplesse incomparable à la fois, comme nous venons de le voir, dans l'espace, et comme puissance, chaque réceptrice s'adaptant exactement à sa machine, puis comme vitesse facile à régler immédiatement à l'allure de production maxima suivant la nature du travail. C'est là une condition évidemment des plus favorables à la diminution de la main-d'œuvre. En outre, la manutention des pièces par les grues électriques, dont nous avons donné, dans ces articles, de nombreux exemples, ajoute une facilité de plus à la conduite générale des travaux. C'est ainsi, qu'aux ateliers de Baldwin, les grues électriques ont réduit de 40 à 8 ou 10 le nombre des hommes nécessaires pour la manipulation des roues de locomotives et de 10 à 2 p. 100 le temps perdu par les manipulations en général. Enfin, l'entretien des transmissions électriques est aussi beaucoup moins onéreux, de 25 à 75 p. 100 d'après les résultats de l'enquête de M. D. Jackson [1].

D'après M. Jackson, « à partir de 100 chevaux, et au delà, la transmission électrique est tellement avantageuse et économique qu'il faut, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, l'employer exclusivement à toute autre ». Il ajoute que cette transmission doit permettre d'actionner, en même temps que les différentes machines de l'atelier, des grues et ponts roulants électriques ainsi qu'alimenter l'éclairage, par exemple par des courants continus ou polyphasés de 220 volts. Ces derniers courants dispensent de l'emploi des balais, mais ils se prêtent moins aux variations continues de vitesses si faciles à réaliser économiquement, ainsi que les marches lentes, avec les réceptrices multipolaires continues : 100 à 200 tours avec des rendements de 70 à 80 p. 100, pour des puissances de 1 à 5 chevaux.

Dans certains cas, de petites machines électriques auxiliaires peuvent rendre de grands services en ajoutant leur travail à celui des machines principales ; tel est le cas du finissage d'un cylindre de machine marine de 11 t., cité par M. Kodolitsh [2] dont le perçage des trous des brides, etc., et leur gougeonnage exécutés par des machines électri-

[1] The Equipment of manufacturing Establishments with Electric Motors and Electric Power Distribution (*L'Éclairage Électrique*, 10 avril 1897, p. 111, et *Mechanical World*, 28 mai, 4 juin 1897).

[2] *The Engineer*. 7 mai 1897, p. 471.

ques pendant l'alésage même du cylindre, ont permis de terminer ce cylindre dix jours plus tôt qu'à l'ordinaire.

M. Kodolitsh a, lui-même, construit quelques types de petites machines-outils électriques étudiées principalement pour la construction des navires, notamment des perceuses. Le type n° 1 pèse 25 kg, avec un moteur d'un cheval, et peut percer rapidement des trous de 25 mm ; le n° 3, monté sur un chariot avec un moteur d'un cheval et demi, peut, avec un seul homme, percer par jour 400 trous de 13 mm dans des tôles de 13 mm en assemblage sur le pont d'un navire en construction et fraiser jusqu'à 1000 trous par jour. Il suffit, pour faire ce travail, de rouler les perceuses sur les tôles, ce qui est beaucoup plus expéditif et plus sûr que d'amener les tôles à la machine. Je citerai encore ses poinçonneuses électriques pour les fers en Z, ses raineuses, aléseuses, etc., etc., enfin la machine à mandriner les tubes de chaudières.

M. Rowan a été, comme le savent nos lecteurs, l'un des promoteurs de l'emploi de l'électricité à la commande des machines-outils. Ses perceuses et riveuses portatives à adhérence électromagnétique sont employées dans un grand nombre d'ateliers, même en France, notamment dans ceux de la Société des Forges et Chantiers de la Seyne. D'après M. Jamieson, ces machines donnent, en moyenne, les résultats indiqués au tableau ci-dessous.

	Watts au moteur.	Diamètre du foret.	Avance par minute.	Centimètres cubes percés par minute.	Watts-heure par centimètre cube percé.	Centimètres cubes percés par cheval électrique.
		Millim.	Millim.			
A	750	25	15	7,4	1,65	445
A	1 150	25	15	7,4	2,50	295
B		25	22	11		
C	1 650	25	16	8	3,42	220
D	840	25	6	3,2	4,35	170
E		25	9	5		
F	816	32	6	3,8	3,65	275

A, fer. B, C, D et F, tôles d'acier doux.

Les figures 1 à 8 représentent quelques types nouveaux de riveuses Rowan. Dans les types figure 1 le cylindre à vapeur ou à air comprimé qui actionne le riveur A peut prendre toutes les inclinaisons voulues grâce à l'articulation sphérique K, qui est, en figure 2, remplacée par une calotte M, à rainures et boulons de fixation N. Dans le type figure 3, le riveur A, soulevé malgré le ressort R par les cames P et Q, puis lâché par ces cames, frappe avec une énergie limitée par celle forcément assez faible du ressort R. Quant aux cames P et Q, elles sont action-

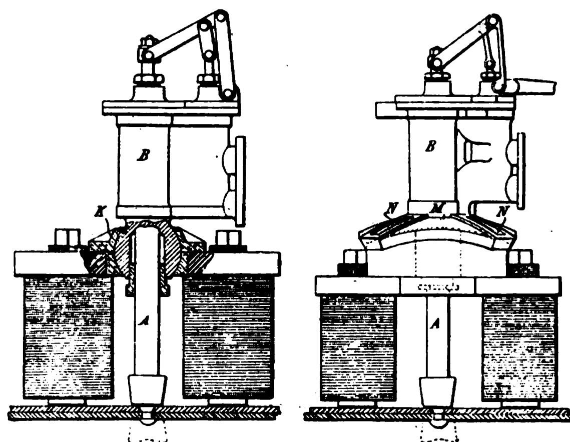


Fig. 1 et 2. — Riveuse Rowan (1895).

nées par une dynamo dont l'arbre T transmet son mouvement aux pignons V_1 et V_2 par un train d'engrenages assez compliqué, lourd et probablement susceptible d'être faussé par les chocs. Pour mater un tube de rivet, il suffit (fig. 7) de remplacer le frappeur A par un mateur W, tournant avec la douille F_2 et opérant sur la tête soit par son tranchant soit par un galet W_2 (fig. 8).

Les *embrayages électromagnétiques* sont appelés à rendre de grands services dans les ateliers qui emploient la transmission électrique, non seulement en remplaçant les embrayages à friction ordinaires, mais en s'appliquant sous une forme légèrement modifiée à la commande des mandrins ou chucks, sur lesquels il est facile de les disposer de manière

à saisir exactement les pièces de formes les plus compliquées (1); tel est, par exemple, le cas du chuck (manchon de machine à forer) de WALKER représenté par les figures 9 à 22 (1).

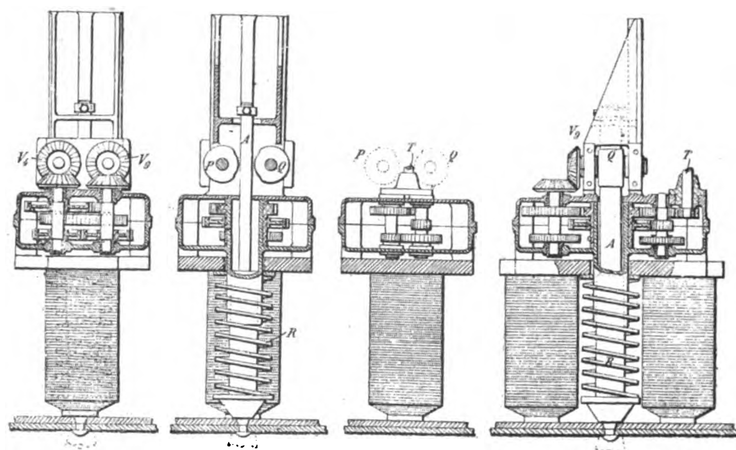


Fig. 3 à 6. — Riveuse Rowan à ressort.

Cet appareil se compose d'un plateau B, B_1,

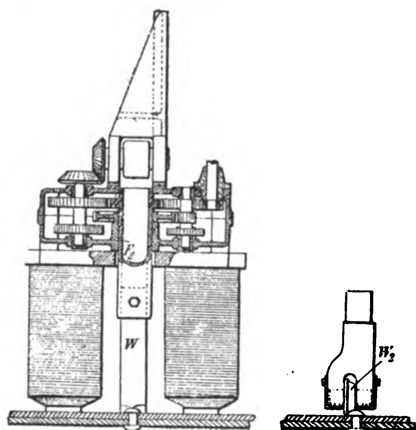


Fig. 7 et 8. — Moteur d'une riveuse Rowan.

B_2, vissé sur la broche A_1 du tour, portant

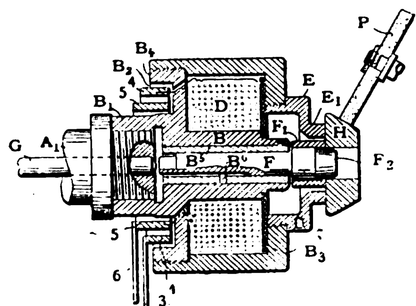


Fig. 9. — Chuck électromagnétique Walker. Coupe.

un manchon en bronze B_3 B_4. dans lequel s'enroule autour de B la bobine D, qui reçoit son courant des balais 4 et 5. Le pôle extérieur de cet électro-aimant est constitué par

Fig. 10. — Chuck électromagnétique Walker. Vue de la machine.

la pièce EE_1 vissée dans B_3 et son pôle intérieur par un mandrin en acier CF, rainuré en B_6 dans la douille B_5 de B, et terminé par une tête T_2, assurant le centrage de la pièce à travailler H, ainsi fortement attirée par E_1 et F_2. Les figures 11 à 22 montrent avec quelle facilité ce chuck peut, en modifiant

(1) *L'Éclairage Électrique* du 12 décembre 1896, p. 490.

(1) *American Machinist*, 29 avril 1897.

convenablement F_2 et E_1, s'adapter au travail des pièces les plus diverses.

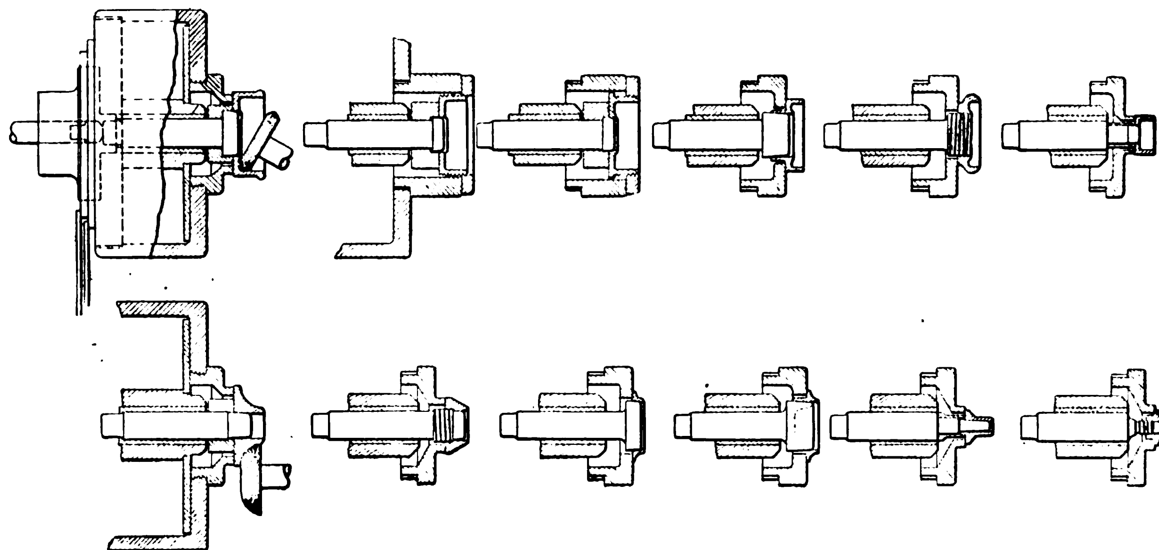


Fig. 11 à 22. — Applications du chuck Walker.

Nous avons dit tout à l'heure que les *grues*, *treuils* et *ponts roulants* électriques rendaient de grands services par la facilité, la sûreté.

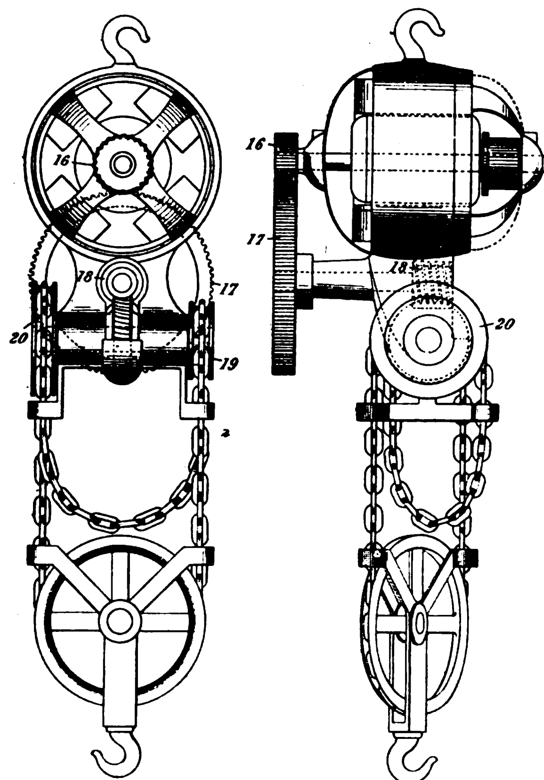


Fig. 23 et 24. — Palan électrique Lounsbury (1897).

Voici quelques descriptions de nouveaux appareils qui, ajoutés aux types nombreux

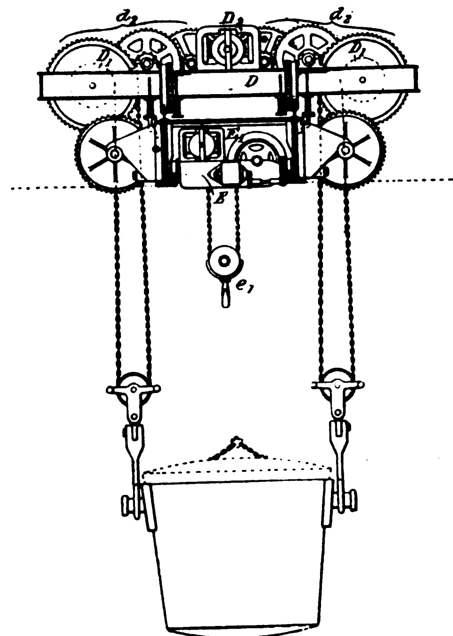


Fig. 25. — Pont roulant Wellman (1897).

déjà décrits dans cette série d'articles (1),

(1) *L'Éclairage Électrique*, 11 mai 1895, p. 245; 24 octobre, 12 décembre 1896, p. 165, 484; 30 janvier, 15 mai 1897, p. 201, 343.

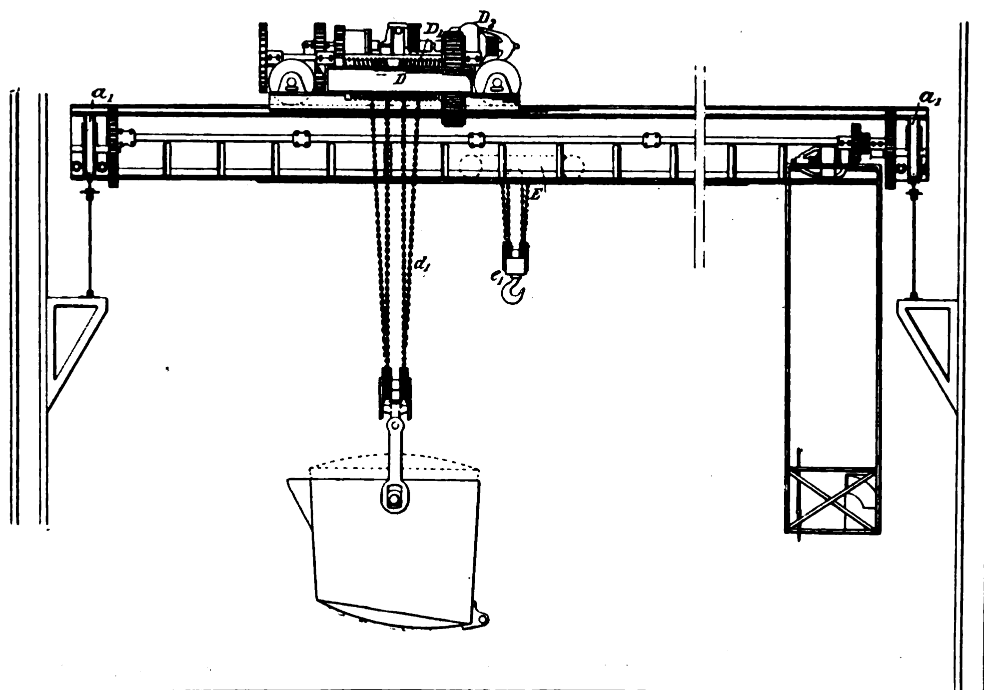


Fig. 26. — Pont roulant Wellman (1897).

achèveront de faire saisir toute l'importance | des applications de l'électricité aux appareils de levage et de manutention.

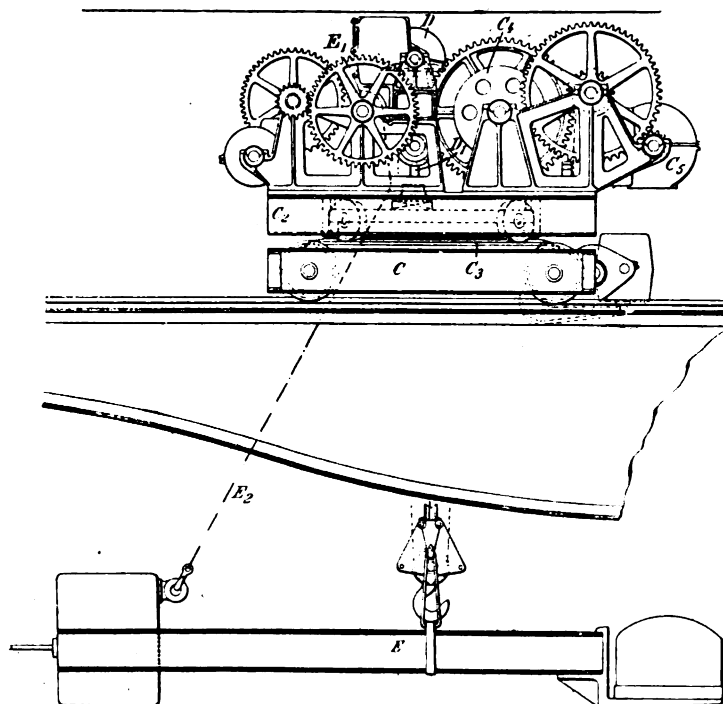


Fig. 27. — Pont roulant Morgan (1897).

Le palan électrique de Lounsbury représenté par les figures 23 et 24 s'explique de lui-même : la dynamo de 1/2 cheval, et faisant 1 200 tours, commande à 400 tours, par 16-17, l'arbre à vis sans fin 18, qui entraîne les poulies différentielles 19-20 de la chaîne. Poids 115 kg ; peut lever 3 t à la vitesse de 1,20 m par minute : c'est donc un outil énergique et des plus maniables.

Le pont roulant pour fonderie de C.-H. Wellman dont nous connaissons déjà l'enfourneur de lingots [1], est caractérisé par l'emploi de deux chariots E et D (fig. 25 et 26). Le chariot D, à treuils D_1 D_1, menés simultanément par la

[1] *L'Éclairage Électrique*, 15 mai 1897, p. 349.

dynamo D_2 et les trains $d_2 d_2$, commande la levée bien d'aplomb de la poche, qui est ensuite basculée par le crochet e_1 du second chariot. Une troisième dynamo commande le roulement a a' du pont.

Le chariot C du pont roulant de Morgan représenté par les figures 27 et 28 porte une plaque tournante C_3, sur laquelle la plateforme C_2 peut tourner par la dynamo D et sa transmission D_1, en prise avec la crémaillère circulaire D_3 et C_3, pendant que la dynamo C_5 accomplit le levage par C_4. On a représenté, en figure 27 ce levage comme appliqué à un enfourneur E, pour tôles de fer-blanc. Il suffit

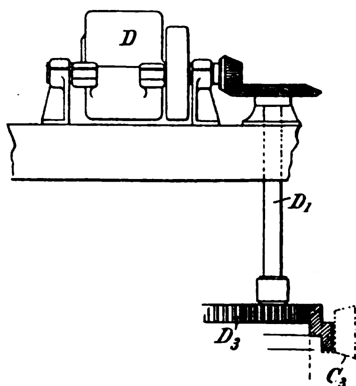


Fig. 28. — Pont roulant Morgan, commande du pivotement.

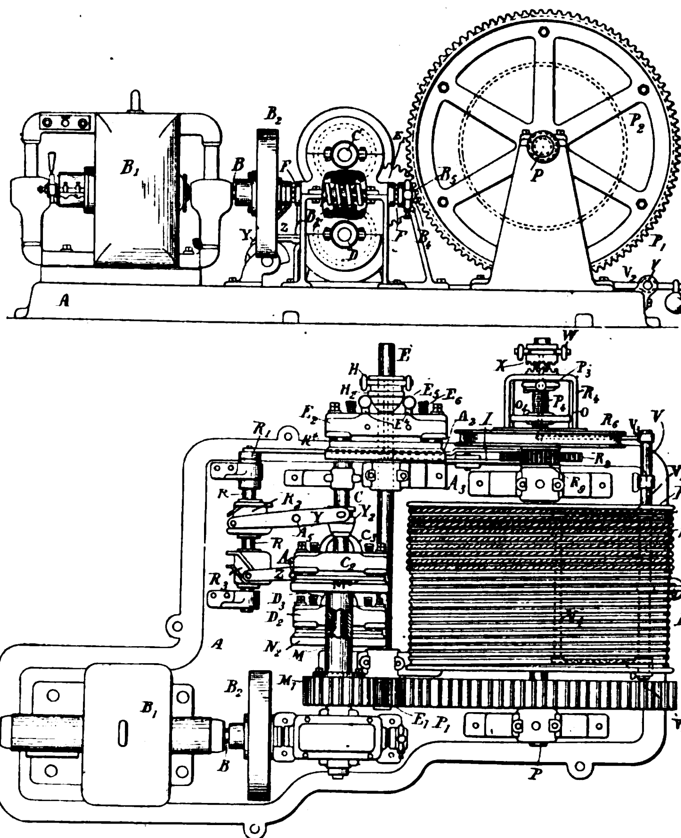


Fig. 29 et 30. — Treuil électrique Frisbie. Élévation et plan.

de soulever légèrement le balancier E par E_1 et son contrepoids E_2 pour enfourner les tôles. Après enfournement, on retire E en déplaçant c_1 sur le pont, puis on ramène E à l'horizontale et, par rotation, au chariot de décharge des tôles

Le treuil pour monte-charges Frisbie, représenté par les figures 29 à 34, se distingue comme la plupart des appareils de ce constructeur [1], par un ensemble très bien groupé et par de nombreux détails de construction ingénieux.

La dynamo B_1 commande, par son arbre à volant B_2, facilitant le passage des à-coups, une vis C a butée sur billes F (fig. 33), réglable en B_5 en prise avec deux pignons C_1 et D_1, tournant par conséquent en sens contraire et avec leurs arbres C et D, qui portent chacun un pignon fou C_2 et D_2, pourvus chacun d'un manchon M (fig. 34) à pignon M_1, en prise avec l'unique pignon E_1, intermédiaire entre les arbres C, D et le pignon P_1 du tambour P_2. Suivant qu'on embraye C_2 avec C, par $M M_2$, ou D_2 avec D, par $D_3 N_2$, le tambour tourne dans un sens ou dans l'autre, pour la montée ou la descente. Ces embrayages sont commandés, de l'arbre R, par les renvois $R_2 A_5 Y Y_2$ et $R_3 z A_6$, actionnés, de la cabine, par la corde de manœuvre et la poulie R_6, à renvoi $R_8 R_7 R R R_1$ (fig. 31) disposé de manière à n'embrayer jamais que

[1] *Bulletin de la Société d'Encouragement*, novembre 1894, p. 790.

l'une ou l'autre des roues C_2 ou D_2, ou aucune d'elles.

L'arbre intermédiaire E de E_1 porte un embrayage E_2, à plateau fixe A_2, leviers $E_4 E_5$ et cône de serrage H (1), commandé, de la coulisse 2_7 de R_7, par le renvoi A_2 I H_1, de manière à serrer E_3 et à faire frein dès que R_7 occupe la position correspondant au dé-

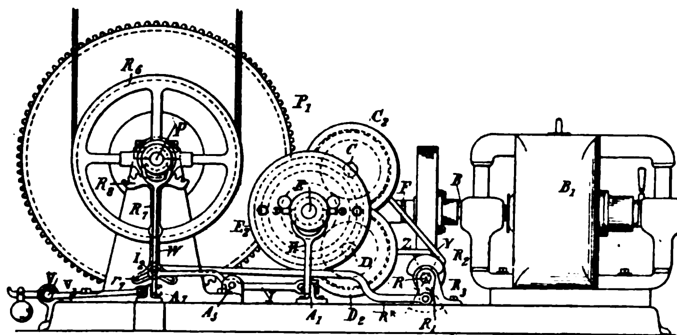


Fig. 31. — Treuil Frisbie. Elévation opposée à celle figure 30.

brayage simultané des roues C_2 et D_2. D'autre part, quand la cabine arrive au haut de sa course, la vis p_4, solidaire de l'arbre P du treuil P_2, a amené son écrou O, guidé sur les glissières R_4, en prise, par son taquet o_1, avec la butée p_3, calée sur P, de sorte qu'il entraîne dans sa rotation R_4, R_6 et le pignon R_9, dont la crémaillère R_8 actionne R_7 de manière à

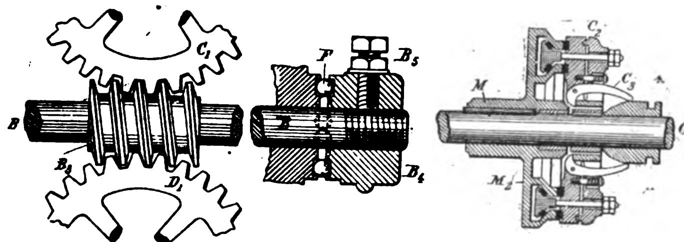


Fig. 32 à 34. — Treuil Frisbie, détail de la butée F et d'un embrayage.

débrayer les pignons C_2 ou D_9 et à serrer le frein A_2. Enfin, à la descente, la corde se lâche, elle tombe sur la barre U_4, reliée par les bras U_2 W_1, à l'arbre V, équilibré par un contre-poids, et qui alors, par U_3 W, embraye en X l'arbre P avec R_4, et arrête comme précédemment la descente de la cage. Comme dernière précaution, E_2 porte des masses centrifuges E_5, à ressorts E_6, qui, en cas d'emportement du treuil, serrent automatiquement le frein A_2 jusqu'à reprise de la vitesse normale.

(*A suivre.*)

G. Richard.

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, décembre 1894, p. 901.

SUR LE CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT

Quand un système de n conducteurs rectilignes indéfinis, uniformément distribués autour d'un axe, est parcouru par un système de n courants polyphasés, décalés l'un par rapport à l'autre de $\frac{2\pi}{n}$, le champ magnétique produit est constant en grandeur en tous les points de l'axe, et il tourne dans l'espace avec une vitesse angulaire uniforme $2\pi F$, F étant la fréquence des courants. Mais ces propriétés de la constance du champ et de sa rotation uniforme n'appartiennent qu'aux points de l'axe. En d'autres termes, le champ n'est un champ purement tournant que sur l'axe lui-même. Partout ailleurs il varie en grandeur et sa rotation n'est pas uniforme. L'expérience a déjà montré l'utilité qu'il y a, au point de vue des qualités des moteurs polyphasés, à multiplier le nombre des phases employées, soit en disposant des circuits parcourus en sens inverse par le même courant, soit en combinant les dispositifs récepteurs en étoile et en polygone. En multipliant ainsi le nombre de phases, on se rapproche d'un idéal, qui n'est autre que l'emploi d'un système de courants *infini-phasés*, distribués d'une façon continue autour de l'axe. Je me propose de démontrer quelques propriétés remarquables de ce système infini-phasé théorique.

Définissons-le d'abord. Considérons une surface cylindrique conductrice (fig. 1) dont l'axe soit projeté en O ; soit R son rayon. Prenons un plan axial repère OA, et déterminons la position de chaque génératrice G par l'angle α que fait avec le plan repère le plan axial passant par cette génératrice. Supposons que la portion de la surface cylindrique comprise entre les génératrices G et G', caractérisées par les angles de position α et $(\alpha + d\alpha)$, soit parcourue par un courant parallèle à l'axe, d'intensité

$$I \sin (kt + \alpha) R d\alpha,$$

la densité superficielle du courant étant donc en chaque point du cylindre égale à $I \sin (kt + \alpha)$. Le sens positif du courant sera celui dirigé du dessus vers le dessous de la figure.

On voit de suite que l'ensemble des courants élémentaires, parallèles à l'axe, et circulant dans toute la surface cylindrique, constituera un système de courants alternatifs infini-phasés, distribués uniformément autour de l'axe.

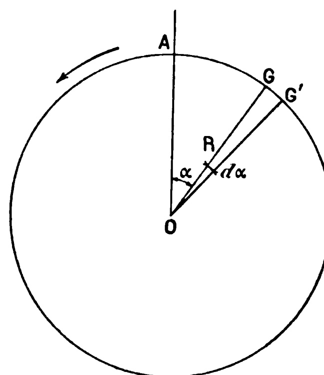


Fig. 1.

Pour calculer le champ magnétique variable produit par ce système, il suffira de faire d'abord abstraction du temps, ce qui revient à supposer tout le système de courant animé d'une rotation de vitesse angulaire k dans le sens de la flèche : la position *fixe* de l'espace occupée d'abord par l'intervalle GG' de deux génératrices sera dès lors le siège d'un courant

$$I \sin (kt + \alpha - kt) R d\alpha = I \sin \alpha \, R d\alpha$$

indépendant du temps, c'est-à-dire continu et constant.

L'ensemble des courants analogues à $IR \sin \alpha \, d\alpha$, fixes dans l'espace, produira un champ magnétique fixe.

Pour revenir au cas posé, il suffira dès lors d'animer ce champ d'une rotation uniforme de vitesse angulaire k en sens contraire de la flèche.

Le champ variable se ramène donc à un champ constant, tournant autour de l'axe avec une vitesse angulaire uniforme k.

Étudions ce champ constant. Comme nous venons de le voir, il est produit par une distribution *continue*, *fixe dans l'espace*, la densité de courant en chaque point du cylindre étant égale à I sin α.

Nous examinerons en premier lieu la distribution du champ magnétique dans le plan fixe OA (fig. 2), qui est le plan des zéros du

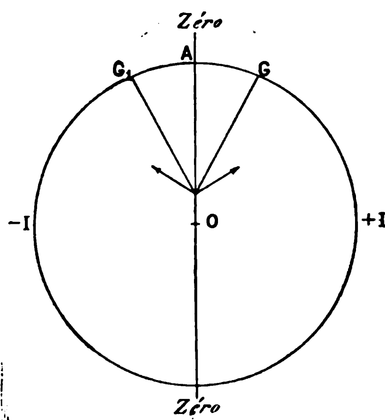


Fig. 2.

courant. Deux éléments de courant G et G_1 symétriquement disposés par rapport au plan

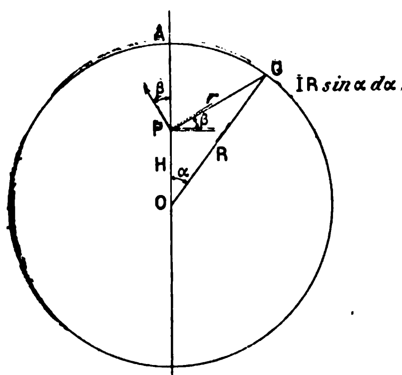


Fig. 3.

des zéros, donneront en un point quelconque de ce plan deux forces magnétiques égales et symétriquement disposées par rapport au plan. Il en résulte que, *en tous les points du plan des zéros, l'intensité du champ est dirigée dans ce plan*. Nous n'avons donc pas à nous préoccuper des composantes du champ perpendiculaire à ce plan.

Proposons-nous de déterminer la force magnétique au point P (fig. 3) du plan des zéros, distant de l'axe d'une longueur H. Posons $\frac{H}{R} = h$. L'élément du courant IR sin $\alpha\, d\alpha$ projeté en G produit en P une force magnétique perpendiculaire à GP, et dirigée vers le haut. Si $r =$ GP est la distance du point P à la génératrice G, cette force sera

$$\frac{\text{IR} \sin \alpha\, d\alpha}{r},$$

et si β est l'angle qu'elle fait avec le plan des zéros OA, la composante utile da de cette force, suivant le plan, sera

$$da = \frac{\text{IR} \sin \alpha \cos \beta\, d\alpha}{r}.$$

On a d'ailleurs

$$\frac{r}{\text{R}} = \sqrt{1 + h^2 - 2\, h \cos \alpha},$$

et, dans le triangle OPG :

$$\frac{\cos \beta}{\sin \alpha} = \frac{\text{R}}{r};$$

on aura donc

$$da = \text{I}\, \frac{\sin^2 \alpha\, d\alpha}{\left(\frac{r}{\text{R}}\right)^2}$$

ou

$$da = \text{I}\, \frac{\sin^2 \alpha\, d\alpha}{1 + h^2 - 2\, h \cos \alpha}$$

que l'on pourra aussi écrire

$$da = -\,\text{I}\, \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{1 + h^2 - 2\, h \cos \alpha}\, d \cos \alpha.$$

La force magnétique totale en P, dirigée dans le plan OA, et vers le haut, sera donc

$$a = -\,\text{I} \int_0^{2\pi} \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{1 + h^2 - 2\, h \cos \alpha}\, d \cos \alpha,$$

ou

$$a = -\,2\,\text{I} \int_0^{\pi} \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{1 + h^2 - 2\, h \cos \alpha}\, d \cos \alpha.$$

L'intégration se fera par les procédés classiques : posons

$$\cos\alpha = \frac{t^2 - 1}{t^2 + 1}.$$

Les limites nouvelles d'intégration, correspondant à $\alpha = 0$ ou π, ou à $\cos\alpha = 1$ ou -1, seront $t = \infty$ ou 0.

L'intégrale devient, en posant $\frac{1+h}{1-h} = p$,

$$a = \frac{16\,I}{(1-h)^2}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{(t^2+1)^2(t^2+p^2)}.$$

La quantité sous le signe intégrale peut se décomposer en :

$$\left(\frac{1}{(1-p^2)^2}\frac{t^2}{t^2+p^2} - \frac{1}{1-p^2}\frac{t^2}{(t^2+1)^2} - \frac{1}{(1-p^2)^2}\frac{t^2}{t^2+1}\right)dt,$$

et par suite, en remplaçant p par sa valeur :

$$a = I\frac{(1-h)^2}{h^2}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{t^2+p^2} + \frac{4\,I}{h}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{(1+t^2)^2} - I\frac{(1-h)^2}{h^2}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{1+t^2}$$

$$= I\frac{(1-h)^2}{h^2}\left[\int_0^\infty dt - p^2\int_0^\infty \frac{dt}{t^2+p^2} - \int_0^\infty dt + \int_0^\infty \frac{dt}{t^2+1}\right] + \frac{4\,I}{h}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{(1+t^2)^2}$$

$$= I\frac{(1-h)^2}{h^2}\left[\int_0^\infty \frac{dt}{1+t^2} - p\int_0^\infty \frac{d\frac{t}{p}}{1+\frac{t^2}{p^2}}\right] + \frac{4\,I}{h}\int_0^\infty \frac{t^2 dt}{(1+t^2)^2}.$$

Nous avons à considérer deux cas : 1°) le point P est à l'intérieur de la surface cylindrique. Alors $h < 1$, et p est positif. On a :

$$\int_0^\infty \frac{dt}{1+t^2} = \int_0^\infty \frac{d\frac{t}{p}}{1+\frac{t^2}{p^2}} = \Big[\operatorname{arc\,tg} t\Big]_0^\infty = \frac{\pi}{2},$$

et

$$\int_0^\infty \frac{dt}{(1+t^2)^2} = \left[-\frac{t}{2(1+t^2)}\right]_0^\infty + \left[\frac{1}{2}\operatorname{arc\,tg} t\right]_0^\infty = \frac{\pi}{4}.$$

On aura donc, *pour un point intérieur*

$$a = -\frac{I(1-h)}{h}\pi + \frac{I\pi}{h} = \pi I.$$

2°) si le point P est extérieur au cylindre, on aura $h > 1$, et par suite p négatif. Il faudra donc prendre

$$-p\int_0^\infty \frac{d\frac{t}{p}}{1+\frac{t^2}{p^2}} = p\int_0^\infty \frac{d\frac{t}{-p}}{1+\frac{t^2}{p^2}} = p\int_0^\infty \frac{dt}{1+t^2},$$

et l'intégrale a devient ; *pour un point extérieur*

$$a = \frac{I(1-h)\pi}{h^2} + \frac{I\pi}{h} = \frac{\pi I}{h^2}.$$

Les deux expressions se confondent sur la surface cylindrique, où $h = 1$.

Passons maintenant au calcul de la force magnétique dans un plan OB perpendiculaire au plan des zéros, que nous pouvons appeler plan des maxima. Deux génératrices G et G_2, symétriquement situées par rapport à ce plan,

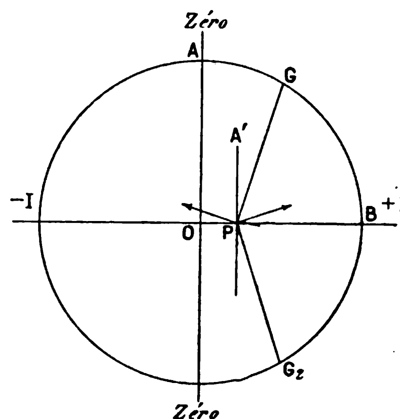


Fig. 4.

OB, donneront en un point P du plan (fig. 4) deux forces magnétiques symétriques par rapport au plan PA' parallèle au plan des zéros. Il en résulte que la force magnétique totale en P n'a pas de composante dans le plan des maxima, et est entièrement comprise dans le plan PA' parallèle au plan des zéros. Nous n'avons donc pas à nous préoccuper,

pour les points situés dans le plan des maxima, des composantes magnétiques dirigées dans ce plan.

Considérons (fig. 5) le point P du plan des

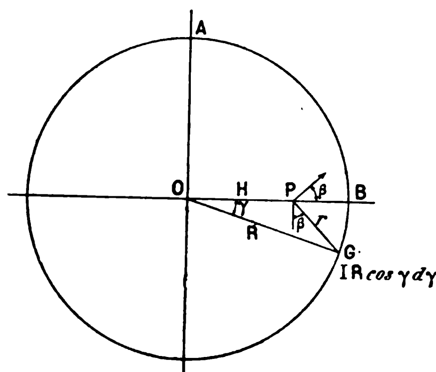


Fig. 5.

maxima, distant de $H = h \times R$ de l'axe, et l'élément de courant $IR \sin \alpha \, d\alpha = IR \cos \gamma \, d\gamma$ projeté en G; $\left(\gamma = \alpha - \frac{\pi}{2}\right)$.

La force magnétique produite en P par ce courant sera perpendiculaire à la droite $GP = r$, et dirigée vers la droite. Elle sera

$$\frac{IR \cos \gamma d\gamma}{r},$$

et sa composante db, comptée vers le bas, normale au plan des maxima, sera

$$db = -\frac{IR \sin \beta \cos \gamma d\gamma}{r},$$

β étant l'angle de la force avec le plan des maxima.

D'ailleurs on a, comme plus haut

$$\frac{r}{R} = \sqrt{1 + h^2 - 2h \cos \gamma},$$

et le triangle OPG donne

$$\frac{\cos \beta}{\sin \gamma} = \frac{r}{R},$$

d'où

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2} \sin^2 \gamma} = \frac{R}{r} (\cos \gamma - h)$$

et par suite

$$db = I \frac{\cos \gamma (h - \cos \gamma) \, d\gamma}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma}$$

$$db = I \frac{\sin^2 \gamma}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma} d\gamma + I \frac{h \cos \gamma - 1}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma} d\gamma.$$

La première quantité est égale à da, tel que nous l'avons obtenu tout à l'heure.

La seconde quantité peut s'écrire

$$-\frac{1}{2} \frac{1 + h^2 - 2h \cos \gamma + 1 - h^2}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma} d\gamma$$
$$= -\frac{I}{2} d\gamma - \frac{I}{2} \frac{1 - h^2}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma} d\gamma.$$

On aura donc, en intégrant ab depuis o jusque 2π, ou en intégrant de o à π et doublant

$$b = a - \pi I - I(1 - h^2) \int_0^\pi \frac{d\gamma}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma}$$

On a

$$a = \pi I$$

ou

$$\frac{\pi I}{h^2}$$

selon que le point P est à l'intérieur ou à l'extérieur du cylindre.

Quant à la dernière intégrale, elle est

$$\int_0^\pi \frac{d\gamma}{1 + h^2 - 2h \cos \gamma}$$
$$= \frac{2}{1 - h^2} \text{ arc tang} \left(\frac{1 + h}{1 - h} \text{tg} \frac{\gamma}{2}\right)_0^\pi = \frac{\pi}{1 - h^2}.$$

Si $\frac{1 + h}{1 - h}$ est positif, c'est-à-dire si h est < 1, ou si le point P est intérieur au cylindre; et, si le point P est extérieur, c'est-à-dire si $\frac{1 + h}{1 - h}$ est négatif, cette intégrale sera égale à $-\frac{\pi}{1 - h^2}$.

Ainsi, *pour un point intérieur*, on a :

$$b = \pi I - \pi I - \pi I = -\pi I$$

et, *pour un point extérieur :*

$$b = \frac{\pi I}{h^2} - \pi I + \pi I = \frac{\pi I}{h^2}.$$

Sur la surface du cylindre, on a $h = 1$, et $b = -\pi I$ ou $+\pi I$, selon que l'on est du côté intérieur ou du côté extérieur de cette surface. Il y a donc discontinuité de la quantité b à la surface cylindrique : cette quantité y varie brusquement de $2\pi I$.

Ainsi, nous avons, pour les quantités a et b force radiale dans le plan des zéros, et force tangentielle dans le plan des maxima, les valeurs ci-dessous :

	Intérieur.	Extérieur.
$a =$	πI	$\frac{\pi I}{h^2}$
$b =$	$-\pi I$	$\frac{\pi I}{h^2}$.

Les valeurs de a et de b, en fonction de h sont représentées en figure 6.

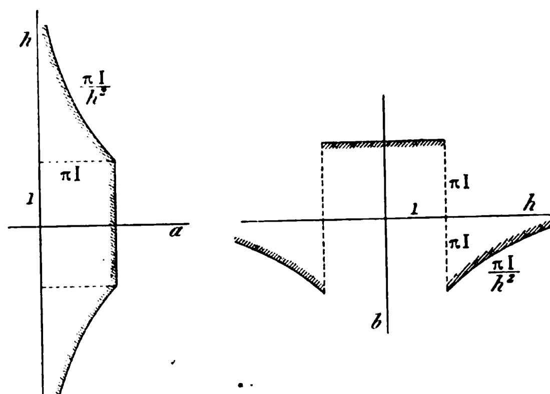


Fig. 6.

Connaissant les valeurs des forces a et b dans les deux plans principaux OA et OB, il sera facile de déterminer la force magnétique en un point quelconque de l'espace.

Considérons en effet un point quelconque P (fig. 7) distant angulairement de φ du plan des zéros OA; soit α l'angle de position d'une génératrice quelconque G du cylindre. Le courant y est $I \sin \alpha$. Appelons δ l'angle des plans radiaux passant par P et par G. On aura

$$I \sin \alpha = I \sin (\varphi + \delta) = (I \cos \varphi) \sin \delta + (I \sin \varphi) \cos \delta,$$

ce qui nous montre que la distribution de courant $I \sin \alpha$ revient à deux distributions superposées : l'une, de valeur maxima $I \cos \varphi$, dont le plan des zéros passe par le point P;

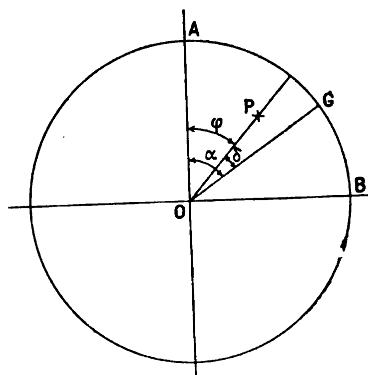


Fig. 7.

l'autre, de valeur maxima $I \sin \varphi$, dont le plan des maxima passe de même par le point P.

Il en résulte que la première distribution donne en P une composante radiale $a \cos \varphi$;

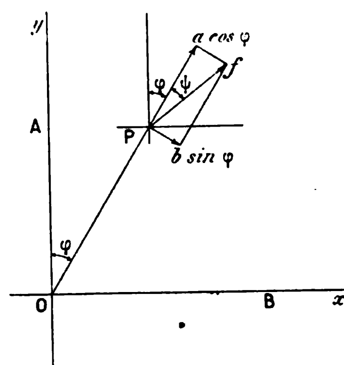


Fig. 8.

et que la seconde donne en P une composante tangentielle $b \sin \varphi$ (fig. 8).

La résultante sera donc de

$$f = \sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi},$$

et l'angle ψ de cette résultante f avec le rayon passant par P sera

$$\operatorname{tang} \psi = \frac{b}{a} \operatorname{tang} \varphi.$$

On aura donc, selon la position du point P,

	Intérieur.	Extérieur.
$f =$	πI	$\frac{\pi I}{h^2}$
$\psi =$	$-\varphi$	$+\varphi$.

Ainsi, *à l'intérieur, la résultante magnétique est dirigée parallèlement à OA, c'est-à-dire parallèlement au plan des zéros, et dirigée vers le zéro précédant les valeurs positives de* sin α. L'intensité du champ intérieur est la même en tous les points. *Le champ magnétique fixe intérieur au cylindre est donc uniforme.*

A l'extérieur, l'intensité du champ varie en raison inverse du carré de h, *rapport de la distance entre l'axe et le point considéré, au rayon du cylindre.*

La force magnétique, en chaque point extérieur, est dirigée de façon que le rayon vecteur du point bissecte l'angle de la direction de cette force et de la direction OA.

Cette propriété nous permet de déterminer la forme des lignes de force magnétiques extérieures (les lignes intérieures sont droites et parallèles à OA). On a, en effet (fig. 8)

$$\psi = \varphi = \text{arc tang } \frac{y}{x}$$

et

$$\frac{dy}{dx} = \text{tang}\left(\frac{\pi}{2} - 2\varphi\right) = \frac{1}{\text{tang } 2\varphi}$$
$$= \frac{1 - \text{tg}^2 \varphi}{2 \text{ tang } \varphi} = \frac{y^2 - x^2}{2xy}.$$

L'équation différentielle des lignes de force extérieure est donc :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y^2 - x^2}{2xy}.$$

On intègre très aisément par les procédés classiques.

Posons $y = zx$. Il vient

$$\frac{2zdz}{1 + z^2} + \frac{dx}{x} = 0,$$

d'où

$$(1 + z^2)\, x = C$$

C étant une constante ; ou

$$y^2 = Cx - x^2.$$

En posant $x = \frac{C}{2} + x_1$, cette équation devient

$$y^2 + x_1^2 = \frac{C^2}{4}.$$

Ainsi, *la ligne de force extérieure est une circonférence dont le centre est sur OB, et qui passe par le point O.*

Les *surfaces magnétiques équipotentielles seront à l'intérieur du cylindre, des plans parallèles au plan des maxima de courant.*

A l'extérieur, on les déterminera comme suit :

La section d'une surface équipotentielle par un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre sera la trajectoire orthogonale des lignes de force magnétiques situées dans ce plan. Cette section sera donc donnée par l'équation différentielle

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2xy}{x^2 - y^2}.$$

Posons $y = zx$. Il vient

$$\frac{1}{2} d(z^2) - \frac{d(z^2)}{1 + z^2} + \frac{dz}{z} - \frac{1}{2} d(z^2) = \frac{dx}{x}.$$

d'où

$$Cz = x(1 + z^2)$$
$$x^2 + y^2 = Cy.$$

En posant $y = \frac{C}{2} + y_1$, cette équation devient

$$x^2 + y_1^2 = \frac{C^2}{4}.$$

Elle représente une circonférence. Ainsi, *les surfaces équipotentielles magnétiques extérieures du cylindre sont des surfaces cylindriques circulaires dont l'axe est dans le plan des zéros de courant et qui passent par l'axe du cylindre des courants.*

Les lignes de force et les sections des surfaces équipotentielles sont représentées en figure 9.

Au passage à travers la nappe de courant, la ligne de force s'infléchit brusquement. A l'intérieur, la force est $f = \pi I$; à l'extérieur, elle est $f' = \pi I$; f et f' sont inclinées d'un angle φ de part et d'autre du plan radial passant par le point de la surface considéré. Au passage, la force magnétique s'accroît donc brusquement d'une composante

$2f \sin \varphi = 2\pi I \sin \varphi$, tangente à la section droite du cylindre. Cette composante est nulle dans le plan des zéros, et maxima et égale à $\pm 2\pi I$ dans le plan des maxima.

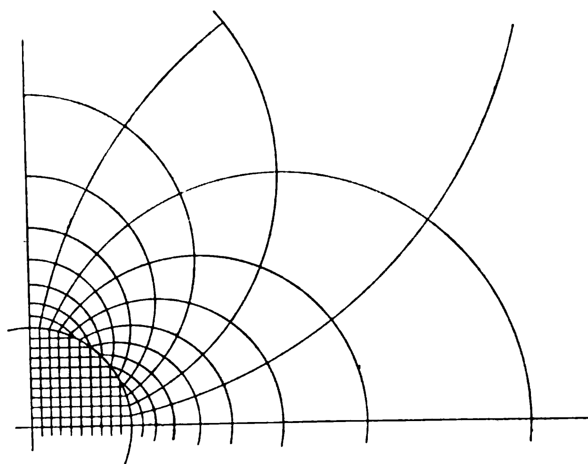


Fig. 9.

Nous avons à présent tous les éléments pour tracer la représentation graphique du champ (fig. 9). Les lignes de force magnétiques, rectilignes et parallèles à OA à l'intérieur du cylindre, s'infléchissent brusquement en traversant la surface cylindrique, c'est-à-dire la nappe de courant, et prennent à l'extérieur la forme circulaire.

Ainsi que nous l'avons dit, pour *revenir au cas du système de courants infini-phasés*, il suffit d'imprimer au champ représenté (fig. 9) une rotation de gauche à droite et de vitesse angulaire constante k.

Le champ intérieur est véritablement un champ uniforme tournant; la direction du champ est parallèle au plan axial mobile passant à tout instant par la génératrice où le courant est nul. *Le mouvement de rotation du champ est donc aussi uniforme.*

Quant au champ extérieur, son intensité (qui n'est fonction que de h) *reste la même en grandeur, en chaque point; elle varie d'un point à un autre.* L'on se convaincra aisément, par l'examen de la figure 9, que *la direction du champ en un point extérieur tourne aussi d'un mouvement uniforme autour du point, mais que ce mouvement s'effectue en sens inverse du mouvement du champ intérieur.*

D'ailleurs (fig. 10) on voit que, le champ, (entraînant son plan des zéros OA), tournant de façon à diminuer l'angle AOP, la droite OPP' étant fixe, la force f en P se rapproche de OP et tourne dans le même sens que le système de courants; la force f' en P' se rapproche aussi de OP', mais tourne en sens contraire de la rotation de f.

Ainsi, l'état du champ (fig. 10) *en un point quelconque intérieur P_1, à un instant quelconque, est représenté par un vecteur dont l'extrémité décrit une circonférence de rayon πI, d'un mouvement uniforme de même sens et de même vitesse angulaire que celui du plan des zéros de courant du système infini-phasé auquel le vecteur reste parallèle : et, en un point quelconque extérieur P_2, par un vecteur dont l'extrémité décrit une circonférence de rayon $\frac{\pi I}{h^2}$, d'un mouvement uniforme et de même vitesse angulaire, mais de sens contraire à celui du plan des zéros de courant, le vecteur étant dirigé vers l'extérieur, dans le plan des zéros de courant au moment où celui-ci passe par le point considéré.*

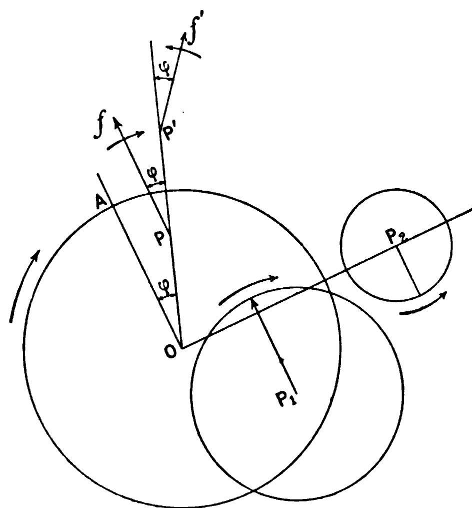


Fig. 10.

(*A suivre.*)

Osc. Colard,
Ingénieur des Télégraphes belges.

LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE SUR LA SURFACE D'UN ANNEAU (1)

La distribution électrique sur la surface d'un anneau

Il est possible de résoudre ce problème en deux manières différentes.

Première méthode. — Imaginons les masses électriques distribuées sur la surface de l'anneau donné et ayant sur un élément dS la densité e. Multiplions $e\,dS$ par $\frac{1}{r}$, où r est la distance de cet élément à un point donné et prenons l'intégrale

$$\int \frac{e\,dS}{r}.$$

étendue sur toute la surface. Cette intégrale sera proportionnelle au potentiel des masses électriques, et il nous reste à exprimer la condition que ce potentiel soit constant sur la surface, ainsi que pour tous les points intérieurs. Cette méthode exige la formation de l'expression $\frac{1}{r}$ pour deux points pris volontairement en coordonnées péripolaires.

M. Neumann emploie cette méthode.

Deuxième méthode. — En employant la seconde méthode nous exprimons la condition que le potentiel à l'intérieur de l'anneau conducteur soit constant et nous obtenons la densité électrique e à l'aide de la relation

$$-4\pi e = \frac{\partial V}{dn} + \frac{\partial V}{\partial n'}, \qquad (72)$$

où n et n' sont les directions des normales intérieure et extérieure à la surface.

V — le potentiel — est l'intégrale de l'équation $\Delta V = 0$, et doit être exprimé par la série dont les termes sont proportionnels à

$$\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\, I_n^0(\lambda)\cos n\omega,$$

(V ne dépend pas de φ).

Si nous prenons dans les expressions (44), comme M. Neumann l'a fait,

$$\gamma_{n,0} = \frac{1}{2\pi},$$

nous aurons l'équation

$$\frac{1}{\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}} = I_0^0(\lambda) + 2\sum_{n=1}^{n=\infty} I_{n0}(\lambda)\cos n\omega. \qquad (73)$$

Par conséquent si l'anneau donné a un potentiel constant égal à V_0, nous pouvons écrire

$$V_0 = V_0\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\, I_0^0(\lambda) + 2\sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^0(\lambda)\cos n\omega. \qquad (74)$$

Cette expression est constante; pour $\lambda \leqq c$ elle représente le potentiel.

Pour $\lambda > c$, c'est-à-dire pour les points de l'espace extérieur, la valeur du potentiel doit être exprimée par la formule suivante :

$$V = V_0 \sum_{n=0}^{n=\infty} k_n A_n^0(\lambda)\cos n\omega. \qquad (75)$$

Pour $\lambda = c$

$$V = V_0.$$

Par conséquent les constantes k_n sont déterminés par l'équation

$$k_0 = \frac{I_0^0(c)}{A_0^0(c)}, \quad k_n = \frac{2\, I_n^0(c)}{A_n^0(c)}, \text{ (cas de } n > 0\text{)}. \qquad (76)$$

Formons à présent $\frac{dV}{dn}$ et $\frac{dV}{dn'}$.

Calculons d'abord la quantité $\frac{d\lambda}{dn}$.

Nous avons

$$-\frac{d\lambda}{dn} = \frac{d\lambda}{dn'} = +\sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial z}\right)^2}. \qquad (77)$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 juillet et du 28 août, p. 255 et 402.

Les formules $x = \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi$ nous donnent

$$\frac{\partial \lambda}{\partial x} = \frac{\partial \lambda}{\partial \rho} \cos \varphi, \qquad \frac{\partial \lambda}{\partial y} = \frac{\partial x}{\partial \rho} \sin \varphi,$$

et par suite

$$\frac{d\lambda}{dn'} = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial z}\right)^2}.$$

Mais nous obtenons, à l'aide de formules (23) et (24)

$$\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial z}\right)^2$$
$$= \frac{\{(1 + \lambda^2 \cos \omega - 2\lambda\}^2 + (1 - \lambda^2) \sin^2 \omega}{4a^2}$$
$$= \frac{(1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2)^2}{4a^2}.$$

Nous avons donc enfin

$$-\frac{d\lambda}{dn} = \frac{d\lambda}{dn'} = \frac{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}{2a}. \qquad (78)$$

Comme V est constant à l'intérieur de l'anneau, l'équation

$$0 = \frac{\partial V}{\partial n}, \qquad (79)$$

doit avoir lieu et par suite, en formant la dérivée de l'expression (74), nous obtenons

$$0 = \frac{\partial V}{\partial n} = -\frac{1 - 2c \cos \omega + c^2}{2a} \times$$
$$V_0 \left[\frac{\partial \sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}}{\partial \lambda} \left\{ I_0^0(\lambda) + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^0(\lambda) \cos n\omega \right\} \right.$$
$$+ \sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}$$
$$\left. \left\{ I_0^{0\prime}(\lambda) + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^{0\prime}(\lambda) \cos n\omega \right\} \right]_{\lambda = c}. \qquad (79')$$

Pour $\frac{dV}{dn'}$ nous avons

$$\frac{\partial V}{\partial n'} = \frac{1 - 2c \cos \omega + c^2}{2a} \times$$
$$V_0 \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}\right) \sum k_n A_n^0(\lambda) \cos n\omega \right.$$
$$\left. + \sqrt{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2} \sum k_n A_n^{0\prime}(\lambda) \cos n\omega \right]. \qquad (80)$$

L'addition de ces équations nous donne

$$-4\pi e = \frac{\partial V}{\partial n} + \frac{\partial V}{\partial n'} = V_0 \frac{(1 - 2c \cos \omega + c^2)^{3/2}}{2a}$$
$$\times \left\{ k_0 A_0^{0\prime} - I_0^{0\prime} + \Sigma (k_n A^{0\prime} - 2 I_n^{0\prime}) \cos n\omega \right\}_{\lambda = c}.$$

Si nous substituons ici K_n, en utilisant la relation (76) nous aurons

$$-4\pi e = \frac{(1 - 2c \cos \omega + c^2)^{3/2}}{2a}$$
$$\left\{ \frac{I_0^0(c) A_0^{0\prime}(c) - I_0^{0\prime}(c) A_0^0(c)}{A_0^0(c)} \right.$$
$$\left. + 2 \sum \frac{I_n^0(c) A_n^{0\prime}(c) - I_n^{0\prime}(c) A_n^0(c)}{A_n^0(c)} \cos n\omega \right\}. \qquad (81)$$

Mais comme $A_n^0(\lambda)$ et $I_n^0(\lambda)$ satisfont l'équation (41′) nous pouvons écrire

$$\lambda^2 \frac{d^2 A_n^0(\lambda)}{d\lambda^2} + \lambda \frac{1 - 3\lambda^2}{1 - 3\lambda^2} \frac{dA_n^0(\lambda)}{d\lambda} + A_n^0(\lambda) f(\lambda) = 0, \qquad (82_1)$$

$$\lambda^2 \frac{d^2 I_n^0(\lambda)}{d\lambda^2} + \lambda \frac{1 - 3\lambda^2}{1 - \lambda^2} \frac{dI_n^0(\lambda)}{d\lambda} + I_n^0(\lambda) f(\lambda) = 0, \qquad (82_2)$$

en posant

$$f(\lambda) = \frac{\lambda^2(\lambda^2 - 2)}{(1 - \lambda^2)^2} - n^2 + \frac{4\lambda^2}{(1 - \lambda^2)^2} \left(\frac{1}{4} - m^2\right)$$

Multiplions l'équation (82_1) par $I_n^0(\lambda)$ et (82_2) par $A_n^0(\lambda)$ et prenons la somme des résultats. Nous aurons

$$\lambda^2 \left(I_n^0(\lambda) \frac{d^2 A_n^0(\lambda)}{d\lambda^2} - A_n^0(\lambda) \frac{d^2 I_n^0(\lambda)}{d\lambda^2} \right)$$
$$+ \lambda \frac{1 - 3\lambda^2}{1 - \lambda^2} \left(I_n^0(\lambda) \frac{dA_n^0(\lambda)}{d\lambda} \right.$$
$$\left. - A_n^0(\lambda)\, d \frac{I_n^0(\lambda)}{d\lambda} \right) = 0.$$

Par conséquent

$$I_n^0(\lambda) \frac{dA_n^0(\lambda)}{d\lambda} - A_n^0(\lambda) \frac{dI_n^0(\lambda)}{d\lambda}$$
$$= Ce^{-\int \frac{1 - 3\lambda^2}{\lambda(1 - \lambda^2)}} = \frac{C}{\lambda(1 - \lambda^2)}, \qquad (83)$$

car

$$\frac{1 - 3\lambda^2}{\lambda(1 - \lambda^2)} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{1 + \lambda} - \frac{1}{1 - \lambda}.$$

Nous verrons plus loin que la constante C peut être faite indépendante de n, si l'on

prend $\delta_{n,0}$ dans l'expression (68) de $A_n^0(\lambda)$ aussi indépendante de n et en particulier si l'on pose avec M. Neumann.

$$\delta_{n,0} = \frac{1}{2\pi}.$$

En utilisant la formule (83) nous pouvons alors changer les numérateurs des fractions, qui figurent dans l'expression (81), par

$$\frac{C}{(1-c^2)c}$$

Posons

$$-\frac{CV_0}{8\pi ac(1-c^2)} = g. \tag{84}$$

Nous aurons alors

$$e = g(1 - 2c\cos\omega + c^2)^{3/2} \left(\frac{1}{A_0^0(c)} + 2\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\cos n\omega}{A_n^0(c)}\right). \tag{85}$$

Cette expression ne diffère de celle qu'a obtenue M. Neumann, que par la présence du multiplicateur 2 devant le signe Σ. La cause de cette différence consiste en une petite faute qu'avait commise M. Neumann (pages 28 et 30 de son mémoire), en posant, dans le cas où $p > \int_0^{2\pi} \cos^2 p\omega\, d\omega = 2\pi$, au lieu de π.

La constante g peut être déterminée, si l'on sait la valeur E de la quantité complète d'électricité répandue sur la surface de l'anneau.

Formons à présent l'expression de l'élément dS de la surface. Nous avons

$$dS = \Omega\Phi d\omega . d\varphi = \frac{2a^2(1-c^2)c}{(1-2c\cos\omega + c^2)^2}\, d\omega . d\varphi,$$

(2 c fr. les formules (31) et suivantes).

Par conséquent

$$E = \int e dS = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{2\pi} \frac{2a^2(1-c^2)c}{(1-2c\cos\omega+c^2)^2}\, e d\omega d\varphi,$$

ou, en vertu de la relation (85)

$$E = 4\pi a^2 c(1-c^2) g \int_0^{2\pi} \frac{d\omega}{\sqrt{1-2c\cos\omega + c^2}} \left(\frac{1}{A_0^0(c)} + 2\sum \frac{\cos n\omega}{A_n^0(c)}\right).$$

Nous aurons, en vertu des formules (44) et (44')

$$E = 8\pi^2 a^2 c(1-c^2) g \left| \frac{I_0^0(c)}{A_0^0(c)} + 2\sum \frac{I_n^0(c)}{A_n^0(c)} \right|,$$

ou enfin

$$E = 8\pi^2 a^2 c(1-c^2) g . \Sigma K_n. \tag{86}$$

Il nous reste à démontrer que la constante C, qui figure dans l'équation (83) ne dépend pas de n, si l'on pose

$$\delta_{n,0} = \frac{1}{2\pi}.$$

Pour calculer C il est nécessaire de choisir une valeur déterminée pour λ.

Prenons

$$\lambda = 0$$

1. Il est facile à démontrer que

$$\lim \frac{I_n^0(\lambda)}{\lambda^n} = A_n = \text{const}.$$

En réalité nous avons la série

$$(1-x)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}x + \frac{1.3}{2.4}x^2 + \dots + \frac{1.3\dots(2n-1)}{2.4\dots 2n}x^n + \text{etc.}$$

Après avoir posé ici $x = 2\lambda\cos\omega - \lambda^2$ substituons cette série dans l'expression

$$I_n^0(\lambda) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^{-1/2} \cos n\omega d\omega.$$

Les termes

$$\frac{1.3\dots 2n-1}{2.4\dots 2n}\, \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (2\lambda\cos\omega - \lambda^2)^p \cos n\omega d\omega,$$

sont égaux à zéro dans le cas où $p < n$; le terme contenant l'exposant le plus petit de λ est donc égal à

$$\frac{1.3\dots 2n-1}{2.4\dots 2n}\, \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (2\lambda)^n \cos^n\omega . \cos n\omega d\omega,$$

ou à

$$\frac{1.3}{2.4}\dots\frac{2n-1}{2n}\,\frac{\lambda^n}{\pi}\int_0^{2\pi}\cos^2 n\omega d\omega,$$

car

$$2^n \cos^n \omega = 2 \cos n\omega + \text{etc.}$$

Donc

$$A_n = \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \dots \frac{2n-1}{2n}; \quad (87)$$

2. Il est possible aussi de démontrer que

$$\lim [\lambda^n A_n^0(\lambda)]_{\lambda=0} = B_n = \text{const.}$$

Divisons la relation (83) par $(I_n^0 \lambda)^2$ et intégrons. Nous aurons

$$\frac{A_n^0(\lambda)}{I_n^0(\lambda)} = C \int \frac{d\lambda}{\lambda(1-\lambda^2)[I_n^0(\lambda)]^2}. \quad (88)$$

Représentons $I_n^0(\lambda)$ par la série développée suivant les puissances de λ et substituons cette série dans l'intégrale. Alors nous aurons λ^{2n+1} au dénumérateur et, par suite, le terme le plus bas en λ de

$$\frac{A_n^0(\lambda)}{I_n^0(\lambda)} \quad \text{est} \quad \lambda^{-2n}.$$

Donc

$$[\lambda^n A_n^0(\lambda)]_{\lambda=0} = B_n = \text{const.}$$

En particulier le terme infini pour $\lambda=0$ de $A_0^0(\lambda)$ est $B_0 \log \lambda$

Posons

$$R^2 = \lambda^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2},$$

$$T_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{\left(\lambda^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}},$$

d'où l'on déduit aisément

$$2R \frac{\partial R}{\partial \lambda} = 2\lambda \cos^2 \frac{\delta}{2},$$

$$\frac{dT_n}{d\lambda} = \frac{-(2n+1)}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{R^{2n+3}} \lambda \cos^2 \frac{\delta}{2}.$$

Or, nous avons

$$T_{n+1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{R^{2n+1}} \left(\cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2}\right).$$

Choisissons α tel, que l'on ait

$$\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} + [\alpha - (2n+1)\lambda] \cos^2 \frac{\delta}{2}$$
$$= \alpha \left(\sin^2 \frac{\delta}{2} + \lambda^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}\right),$$

c'est-à-dire

$$\alpha = \frac{2n+1}{1-\lambda^2} \lambda.$$

Nous obtenons aisément

$$\frac{dT_n}{d\lambda} + \alpha T_{n+1} = \alpha T_n,$$

ou

$$(1-\lambda^2) \frac{dT_n}{d\lambda} - (2n+1)\lambda T_n = -\lambda(2n+1) T_{n+1}. \quad (89)$$

Comme T_0 contient le terme $B_0 \log \lambda$, le terme le plus bas de T_1 est $\frac{-B_0}{\lambda^2}$; pour T_2 ce terme est $\frac{-2B_0}{B\lambda^4}$; pour T_n

$$\frac{-2}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdots \frac{2n-2}{2n-1} \frac{B_0}{\lambda^{2n}}.$$

Or,

$$A_n^0(\lambda) = \lambda^n T_n.$$

Donc

$$B_n = [\lambda^n A_n^0(\lambda)]_{\lambda=0}^n = [\lambda^{2n} T_n]_{\lambda=0}$$
$$= \frac{-2}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{2n-2}{2n-1},$$

et, par suite,

$$A_n B_n = \frac{B_0}{2n}. \quad (90)$$

Reprenons la relation (83)

$$A_n^{0\prime} I_n^0 - A_n^0 I_n^{0\prime} = \frac{C}{\lambda(1-\lambda^2)}.$$

et écrivons la ainsi

$$\lambda^{n+1} A_n^{0\prime} I_n^0 \lambda^{-n} - A_n^0 \lambda^n . I_n^{0\prime} \lambda^{1-n} = \frac{C}{1-\lambda^2}.$$

Nous avons

$$C = [\lambda^{n+1} A_n^{0\prime}]_{\lambda=0} [I_n^0 \lambda^{-n}]_{\lambda=0}$$
$$- [A_n \lambda^n]_{\lambda=0} [I_n^{0\prime} \lambda^{1-n}]_{\lambda=0},$$

où

$$[\lambda^{n+1} A_n^{0\prime}]_{\lambda=0} = -nB_n \qquad [A_n \lambda^n] = B_n,$$
$$[\lambda^{-n} I_n^0] = A_n, \qquad [I_n^{0\prime} \lambda^{1-n}] = nA_n.$$

Donc

$$C = -nB_n A_n - nB_n A_n.$$

Par conséquent, en vertu de la relation

$$C = -2nA_n B_n = +B_0. \quad (91)$$

La capacité électrique de l'anneau. — Nous avons obtenu la relation (86) entre la constante g avec la charge E de l'anneau

$$E = 8\pi^2 a^2 c\,(1 - c^2)\, g \sum_{n=0}^{n=\infty} k_n.$$

Mais nous avons posé [cfr. (84)]

$$g = -\frac{V_0 C}{8\pi a c\,(1 - c^2)}.$$

En substituant la valeur de g dans l'équation précédente, nous obtenons

$$E = -a\pi V C\, \Sigma\, k_n, \tag{92}$$

ce qui donne l'expression suivante de la capacité $\frac{E}{v_0}$ de l'anneau

$$\frac{E}{V_0} = -\pi a C\, \Sigma\, k_n.$$

ou, comme

$$C = +B_0,$$

$$\frac{E}{V_0} = -\pi a B_0\, \Sigma\, k_n. \tag{93}$$

Ici on doit poser

$$k_0 = \frac{I_0^0(c)}{A_0^0(c)}, \qquad k_n = \frac{2\, I_n^0(c)}{A_n^0(c)}.$$

L'expression (93) contient B_0. Nous pouvons déduire l'expression de la même capacité sans B_0 et nous pourrons à cause de cela obtenir aussi la valeur de B_0.

Nous savons de la théorie du potentiel que le produit

$$r_0 V,$$

(r_0 désignant la distance du point O donné à un point quelconque de l'espace et V la valeur du potentiel en ce dernier point) est égal pour $r_0 = \infty$ à la quantité M de la charge totale existant sur les corps électrisés.

Prenons l'origine des coordonnées pour O. L'expression (15) nous donne

$$r_0 = a\sqrt{\frac{1 + 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}}.$$

Pour le point extérieur par rapport à l'anneau

$$V = \sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\, V_0\, \Sigma\, k_n A_n^0(\lambda)\cos n\omega,$$

et par suite

$$r_0 V = a V_0 \sqrt{1 + 2\lambda\cos\varpi + \lambda^2}\, \Sigma\, k_n A_n^0(\lambda)\cos n\omega.$$

S'il n'y a qu'un seul corps électrisé, on doit avoir

$$[V r_0]_{r=\infty} = E,$$

où E désigne sa charge totale.

Les considérations que nous avons données à l'origine de ce travail nous ont conduit à la conclusion, que pour un point infiniment éloigné on doit poser

$$\varpi = 0, \qquad \lambda = 1.$$

En ce cas

$$\sqrt{1 + 2\lambda\cos\varpi + \lambda^2} = 2;$$

$$A_n^0(\lambda) \pm \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}} = 1.$$

D'où l'on obtient

$$[r_0 V]_{r_0=\infty} = E = 2\, a V_0 \Sigma k_n, \tag{94}$$

ce qui donne l'expression suivante pour la capacité

$$\frac{E}{V_0} = 2\, a\, \Sigma k_n. \tag{95}$$

La comparaison des expressions (93) et (95) nous donne encore

$$B_0 = \frac{-2}{\pi}. \tag{96}$$

(*A suivre.*)

N. Boulgakoff,
Privat-docent de l'Université de Saint-Pétersbourg.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (¹)

CONTACTS SUPERFICIELS A COMMUTATEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les bons résultats obtenus dans l'exploitation industrielle et dans les essais des différents systèmes de ce genre, l'économie qu'ils permettent de réaliser dans les frais de premier établissement et dans les dépenses d'exploitation, semblent annoncer un avenir pratique considérable à ces systèmes, dont le nombre se multiplie tous les jours.

Un des points sur lesquels les inventeurs ont particulièrement tourné leur attention, c'est que les fuites de courant qui se produisent à la surface du sol, entre les différents boutons de contact et les rails, ne puissent pas animer les commutateurs ou distributeurs et ainsi maintenir électrisés les pavés de contact qui ne seraient plus recouverts par les voitures, ce qui pourrait occasionner des accidents.

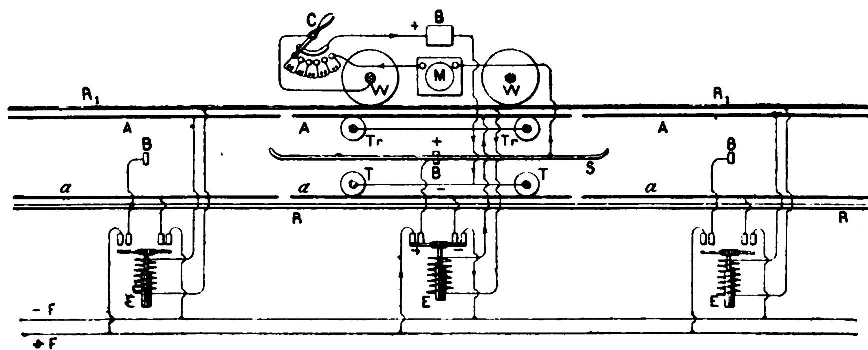


Fig. 63. — Canalisation à contact superficiel et à commutateur électromagnétique, système Sundell. Schéma des connexions.

Les communications du système R. SUNDELL ont été établies de façon à réaliser ce *desideratum*.

En service normal, la marche du courant est la suivante : le courant de la petite batterie d'accumulateurs B (fig. 63), portée par la voiture, passe par le contrôleur C, les roues W de la voiture, les rails R_1, l'électro E, le rail de contact sectionné A, le patin de contact Tr, d'où il fait retour à la batterie B. Dès que le courant passe dans le solénoïde E, il attire son noyau qui vient réunir deux à deux les quatre contacts placés au-dessus de lui ; le courant principal, venant de l'usine par FF, passe alors, par les deux contacts de gauche, au bouton B sur lequel vient frotter la barre de contact S par laquelle il se rend aux moteurs M, et au contrôleur C ; en ce point il se partage en deux parties : l'une gagne le câble négatif par les roues W, les rails R_1, et l'électro E; l'autre traverse la batterie B qu'elle recharge et gagne aussi le câble négatif par le frotteur T, le rail de contact *a* et les contacts de droite du commutateur. Dès que la voiture s'est éloignée, le poids du noyau E rompt les contacts automatiquement; si une dérivation par le sol se fait entre B et *a* elle ne passe pas par l'électro E qui ne peut par

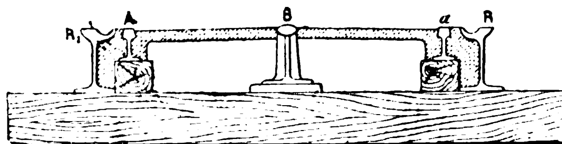


Fig. 64. — Voie Sundell. Montage des boutons et des rails de contact.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 31 juillet, des 7 et 28 août, p. 241, 298 et 406.

conséquent maintenir le circuit fermé ; si une dérivation se produit entre B et A, elle traverse l'électro E en sens opposé à celui du courant normal, en sorte que le noyau se trouve abaissé au lieu d'être soulevé ; le courant se trouve donc dans tous les cas rompus.

La figure 64 représente une coupe transversale de la voie et montre la disposition des boutons de contact B et des rails de contact A et *a*.

Le système E.-W. Rice (General Electric C°) a pour but principal d'empêcher les fuites à la surface du sol, s'il vient à s'en produire, d'agir sur les distributeurs. Ce résultat est obtenu simplement en plaçant le pavé de contact relié au distributeur, dans une cuvette métallique *c* (fig. 65 et 66), qui

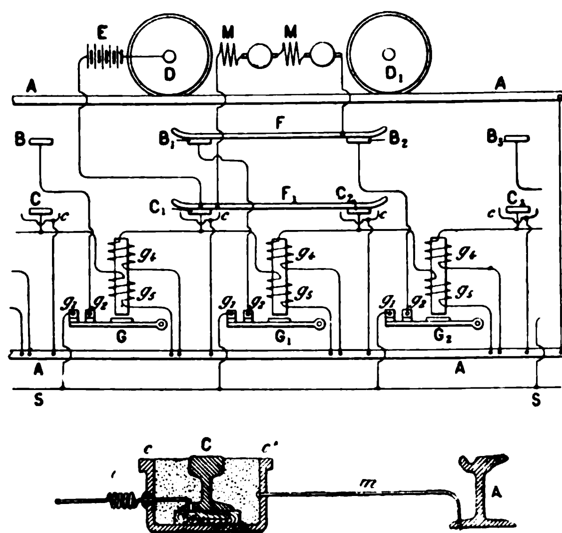


Fig. 65 et 66. — Canalisation Rice à contacts superficiels et à commutateur électromagnétique.

est en contact avec le sol; bien entendu, le pavé de contact C est isolé de cette cuvette.

Le système de distribution lui-même n'a rien de particulier ; il se rapproche de celui de Lundell et Johnson que nous avons décrit antérieurement [1]. Lorsque le patin F_1 vient en contact avec un des pavés C, le courant de la batterie d'accumulateurs E portée par la voiture, passe par ces deux organes et se dérive entre les enroulements g_4 et g_5 de deux électros contigus, pour ensuite faire retour à la batterie par les rails A et les roues D de la voiture. Les deux électros ainsi animés attirent leurs armatures G qui viennent, par les contacts g_1 et g_2, mettre les boutons B correspondants en communication avec le câble d'amenée du courant S ; le courant principal passe alors par ces boutons B, le patin F les moteurs, puis fait retour à la terre en passant par le second patin F_1, les pavés C, les enroulements des électro-aimants et les rails.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 510, 5 juin 1897.

La construction du commutateur du système R. Lundell et Johnson dont nous rappelions plus haut le principe est bien étudiée pour assurer un fonctionnement régulier et un montage facile ainsi que pour permettre des réparations rapides tout en protégeant les organes actifs contre la boue et l'humidité.

Les deux enroulements dont se compose chaque électro sont disposés en M et M_1 (fig. 67) sur une même bobine qui est placée

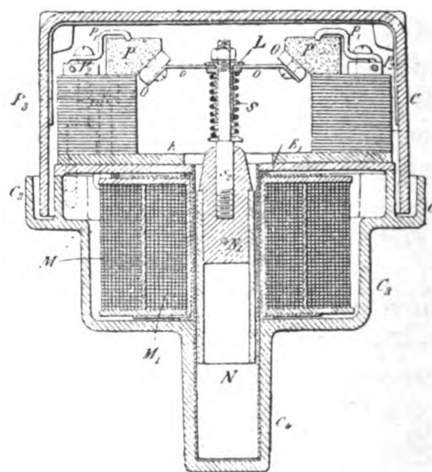


Fig. 67. — Commutateur Lundell et Johnson. Coupe.

dans une cuvette quadrangulaire C_3 ayant au fond un puits C_4 et dont la partie supérieure est munie d'une gorge C_2 ; sur les bords intérieurs de cette dernière est fixé un plateau en fer E_1, percé au centre d'une ouverture cir-

culaire et qui complète, avec la cuvette elle-même, le circuit magnétique de l'électro, ou mieux du solénoïde ; le noyau N de celui-ci est creux ; il est fixé sur un bloc isolant N_1, portant lui-même une tige métallique S_2 ; à la partie supérieure de celle-ci est fixée une barre métallique horizontale I, qui porte plusieurs tiges transversales *o*, dont l'extrémité extérieure est munie d'un bloc métallique O.

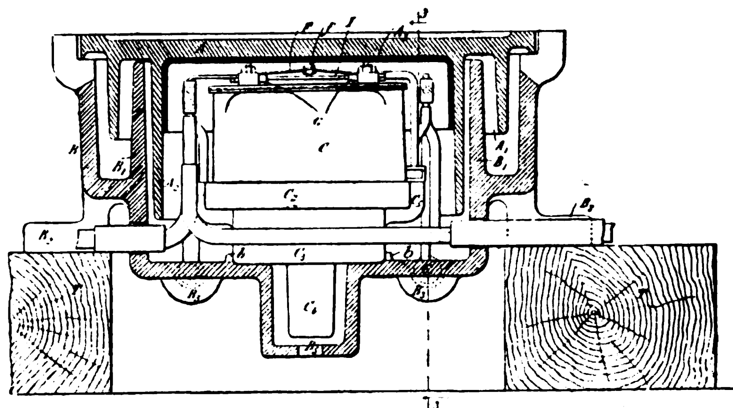


Fig. 68. — Montage du commutateur dans les boîtes et des boîtes sur les voies. Vue en bout.

Sur la plaque E_1, on fixe par des vis la plaque isolante E et les piliers isolants P_3. A la partie supérieure de ceux-ci sont fixés des blocs métalliques P_2 qui sont réunis respectivement aux pavés de contact et aux conducteurs d'amenée du courant de façon à réaliser les communications indiquées schématiquement dans l'article précité; des crampons métalliques P_1, fixés sur les blocs P_2, portent des contacts en charbon P, disposés comme l'indique la figure 67. Le tout est recouvert par le couvercle C qui vient se poser dans la gorge C_2 de la cuvette C_3 ; cette gorge est remplie de paraffine ou d'asphalte pour obtenir un joint hermétique. Lorsque le solénoïde est inactif, le noyau N tombe par son propre poids, et les blocs *o* viennent reposer sur la plaque isolante E ; lorsque le courant passe dans l'un ou l'autre des enroulements M ou M_1, le noyau est soulevé et les blocs *o* viennent en contact avec les charbons P, qui sont ainsi réunis électriquement par O, *o*, *o* et O, ce qui ferme le circuit sur les pavés de contact de la voie et partant sur les moteurs de la voiture. Un ressort à boudin S, fixé sur la tige S_2 comme l'indique la figure assure, par son élasticité, un bon contact et contribue à faire retomber le noyau lorsque le courant ne passe plus.

La cuvette C_3 est placée à l'intérieur d'une boite B (fig. 68, 69 et 70), fixée sur les traverses de la voie par des semelles B_2 ; la boîte B est munie à sa partie supérieure d'une gorge B_1 dans laquelle vient s'engager le rebord A_1 du couvercle A qui a aussi un rebord plus profond A_2 pénétrant à l'intérieur de la boite B ;

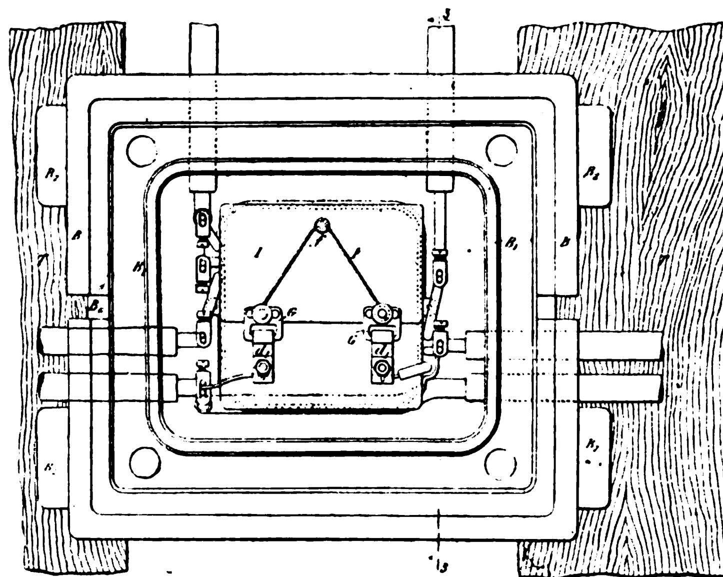


Fig. 69. — Vue en plan.

celle-ci est munie à sa partie inférieure d'un drain B_6. On évite ainsi toute introduction d'eau ou de boue sur le commutateur. Le haut du couvercle A est armé d'une

forte couche isolante A_3 pour empêcher les courts-circuits. La cuvette C_3 est maintenue en place par des rebords *b*. Les câbles, isolés et sous plomb, qui servent à établir les communications extérieures, pénètrent dans la boîte B, comme l'indiquent les figures, par des manches B_1 qui sont ensuite remplies de paraffine. Ils s'élèvent ensuite jusqu'au-dessus du couvercle C où les communications sont établies entre eux; ces communications se

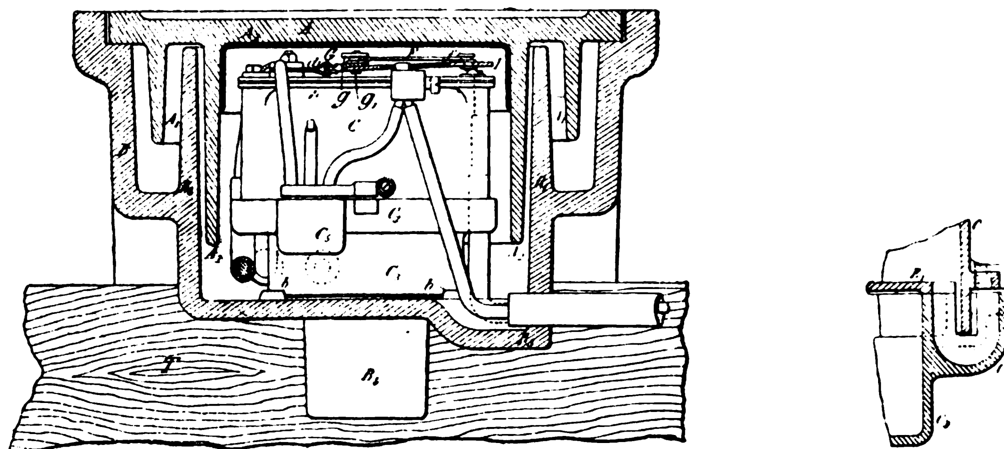


Fig. 70 et 71. — Vue latérale et détail.

trouvent protégées par l'isolant A_3 et, en cas d'inondation, l'eau ne peut monter dans cette partie de la boîte parce que l'air emprisonné par le rebord A_2 s'y oppose. Les communications intérieures du commutateur proprement dit sont établies à l'usine; les câbles qui relient les organes intérieurs de la cuvette C_3 à l'extérieur passent par la manche courbe C_5 (fig. 68, 69, 70 et 71) scellée par un isolant convenable. Les communications entre ces

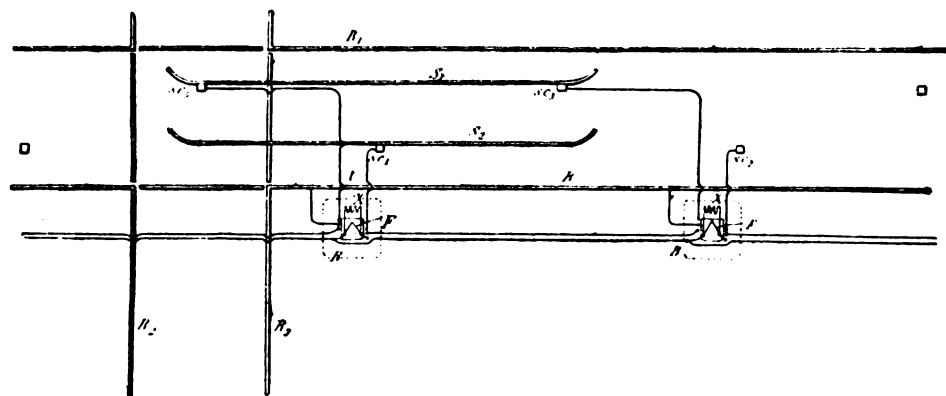


Fig. 72. — Schéma du coupe-circuit de sûreté.

câbles intérieurs et les câbles extérieurs s'établissent comme l'indiquent clairement les figures.

On peut craindre qu'un court-circuit puisse se produire entre les pavés de contact *s c* et les rails R_2 d'une voie transversale (fig. 72) par l'intermédiaire des patins de contact S. Pour éviter les accidents qui pourraient en résulter, les commutateurs sont munis d'un conducteur fusible F, placé sur le couvercle C; ce fusible est muni d'un shunt X de résistance convenable, pour que, en cas de fusion, le courant continue à passer aux moteurs avec une intensité réduite, permettant pourtant

aux voitures de continuer leur chemin jusqu'au pavé suivant.

Le fusible est monté sur un plateau isolant I (fig. 68) et se compose d'un fil de cuivre F fixé à ses extrémités entre des pinces G, solidaires du plateau I et passant sur une fiche *f*; les pinces G viennent s'agrafer dans des griffes *c* montées sur une plaque isolante fixée au sommet du couvercle C. On peut ainsi retirer le plateau I et remplacer le fusible sans crainte d'accidents.

(*A suivre.*)

G. PELLISSIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Plomb fusible, système L. W. Downes et W. C. Woodward [1].

Les défauts des plombs fusibles ordinaires peuvent être rangés dans deux classes principales : l'irrégularité du point de fusion et la tendance à l'établissement d'un arc lors de la rupture.

Un conducteur parcouru par un courant électrique n'atteint sa température d'équilibre qu'au bout d'un certain temps; celui-ci dépend de l'intensité du courant, source de chaleur, et des circonstances extérieures qui provoquent une dissipation plus ou moins rapide de cette chaleur. C'est ainsi que le point de fusion sera atteint au bout de durées différentes ou avec des courants plus ou moins intenses, suivant la position du conducteur, sa longueur, l'irrégularité de sa section, les dimensions et la nature des bornes, l'importance des courants d'air dans lesquels il est plongé, la nature des corps avec lesquels il peut venir fortuitement en contact. Par exemple, un plomb fusible de 6,25 cm de longueur, qui était en contact sur une longueur de 3 mm seulement avec du papier, corps pourtant mauvais conducteur de la chaleur, ne fondait, avec un courant donné, qu'au bout d'un temps 30 pour 100 plus long que lorsqu'il était complètement plongé dans l'air tranquille.

L'arc électrique s'établit souvent parce que la distance entre les bornes est trop courte; cette distance est souvent plus petite que la longueur du conducteur qu'on doit courber pour le mettre en place; l'arc se maintient par suite de la présence des vapeurs conductrices provenant de la volatilisation du fil et des bornes.

Pour éviter ces causes d'irrégularité, MM. Downes et Woodward emploient un conducteur droit, soudé en B et C (fig. 1) à des

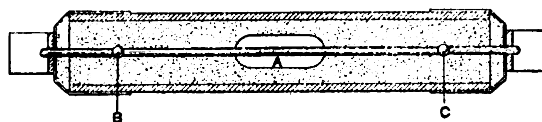


Fig. 1. — Plomb fusible enfermé de Downes et Woodward.

bornes de poids constant et l'enferment dans un tube en matière isolante qui le protège des courants d'air et du contact accidentel des corps voisins. En outre, pour éviter la formation de l'arc, ils remplissent ce tube avec une matière isolante spéciale, mauvaise conductrice de la chaleur, et finement pulvérisée. Les vapeurs conductrices ainsi divisées par cette poudre isolante ne peuvent servir à l'établissement de l'arc. Le tube est fermé par des douilles métalliques percées d'orifices qui servent à l'écoulement des vapeurs formées lorsque le plomb est volatilisé.

Dans les premiers modèles, cette poudre isolante remplissait tout le tube; mais on n'obtenait ainsi que des résultats très irréguliers; malgré le faible pouvoir conducteur de la poudre, la chaleur engendrée dans le

[1] *The Electrical Engineer* (N.-Y.), 9 juin 1897.

fil était rapidement dissipée et d'autant plus facilement que la température initiale était plus basse; ainsi, un plomb qui fondait à l'air libre, en 32 secondes, avec un courant de 15,8 ampères, pouvait, plongé entièrement dans la poudre, conduire un courant de 50 ampères pendant plus d'une minute, ou un courant de 30 ampères pendant 30 minutes. La fusion pouvait donc se produire pour des courants très différents et au bout de temps très variables suivant que l'excès de charge se produisait juste au moment de la mise en marche avec un appareil à la température ambiante, ou au bout d'un certain temps, lorsque l'appareil était déjà échauffé par le passage du courant.

Cet inconvénient a pu être complètement évité en réservant un espace d'air, A, au milieu du conducteur, ce qu'on réalise facilement en enveloppant ce dernier d'un petit sac en papier avant de remplir le tube de poudre. La nature de celles-ci a donné lieu à de longues recherches; dans les premiers temps, les inventeurs employaient du sable, mais celui se vitrifiait sous l'action de la chaleur; les orifices d'échappement des vapeurs se trouvaient bouchés et un arc destructif se formait alors souvent lorsque le plomb fondait par suite d'un court circuit; les inventeurs gardent le secret sur la nature de la poudre qu'ils ont adoptée.

Grâce à ces perfectionnements, les plombs fusibles enfermés donneraient des résultats d'une régularité parfaite, quelle que soit la valeur du courant de fusion.

Ils sont désignés par l'intensité du plus fort courant qu'ils peuvent conduire indéfiniment sans fondre, la température ambiante étant de 20° à 25° C. Dans ces conditions, si l'intensité du courant vient à augmenter, le conducteur fondra au bout d'un temps d'autant plus court que l'excès d'intensité sera plus considérable; une surcharge de 10 pour 100 sera supportée pendant un temps très long, tandis qu'une surcharge de 30 pour 100 provoquera la fusion en moins d'une minute. Cela donne à l'appareil une très grande élasticité, particulièrement favorable lorsqu'il est placé sur des circuits contenant des moteurs, car ces derniers, au moment de la mise en marche, absorbent des courants très intenses, mais pendant très peu de temps, et peuvent, en outre, supporter sans échauffement dangereux des surcharges fortes pendant une durée assez prolongée. On voit que le plomb fusible s'adapte parfaitement à ces conditions de marche; il serait même plus favorable que les coupe-circuits magnétiques, car ceux-ci sautant dès que l'intensité du courant atteint une valeur donnée, doivent être réglés pour laisser passer le courant du démarrage que les moteurs ne peuvent cependant supporter impunément que pendant un temps très court.

G. P.

Fonctionnement des alternateurs en parallèle

Par J.-E. Woodbridge [1]

L'auteur rappelle les avantages bien connus du fonctionnement en parallèle des alternateurs dans les stations centrales : simplicité des tableaux de distribution et des canalisations, faible influence de variations de charges, fonctionnement dans les meilleures conditions de rendement, absence de fluctuations au moment de la mise en service d'une machine nouvelle, etc.

L'étude de M. Woodbridge se rapporte exclusivement à la régulation du moteur conduisant les dynamos, en admettant naturellement que celles-ci sont aptes au couplage en parallèle. Le meilleur moyen de s'assurer de l'existence de cette condition purement électrique consiste à vérifier si l'une des deux machines peut fonctionner comme moteur synchrone alimenté par l'autre, et pour des charges comprises entre la charge nulle et la pleine charge et sans courant synchronisant exagéré.

Supposant cette condition remplie l'auteur étudie les trois cas suivants :

---

(1) *Electrical Engineer* de New-York du 28 avril et 21 mai 1897.

1° Les deux alternateurs sont conduits par le même moteur ou par la même transmission.

2° Les deux alternateurs sont actionnés chacun par un moteur spécial n'ayant aucun autre organe à faire mouvoir.

3° Les deux alternateurs sont commandés par deux moteurs séparés, mais chacun de ceux-ci peut alimenter d'autres machines. Ce dernier cas ne doit être employé que si les charges étrangères du moteur représentent une faible partie de sa puissance ou sont constituées elles-mêmes par des alternateurs fonctionnant tous en parallèle; ce cas rentre alors dans le second.

Lorsque les générateurs sont commandés par le même moteur ou la même transmission, il est nécessaire non seulement que les diamètres des poulies soient calculés de telle façon que les vitesses soient rigoureusement les mêmes mais aussi que les courroies soient tendues de manière à avoir exactement le même glissement. S'il n'en était pas ainsi, le synchronisme ne se romprait pas forcément, mais le décalage de phase entre les deux alternateurs serait très grand et donnerait par suite lieu à un fort courant synchronisant qui diminuerait la puissance des dynamos et leur rendement.

L'une des génératrices peut même dans ces conditions fonctionner comme moteur; aussi comme l'ampèremètre ne peut indiquer cet état de choses, il est bon de mettre un wattmètre (non enregistreur) dans le circuit de chaque machine.

Pour équilibrer les charges sur les deux machines il vaut mieux agir sur les tendeurs des courroies que sur les rhéostats d'excitation des dynamos ou d'excitation des excitatrices [1]. On diminuera de même l'effet des glissements en employant des courroies peu tendues de préférence à des courroies également graissées. La commande par cordes avec tendeurs automatiques vaut mieux que celle par courroies; par suite de la plus grande uniformité des glissements avec les courroies, l'influence de la tension doit se faire mieux sentir avec des courroies tannées un peu faibles qu'avec des courroies très rigides.

Ce qui vient d'être dit des courroies s'applique seulement au cas où les alternateurs sont commandés par la même transmission ou le même moteur; lorsque la commande se fait par moteurs séparés les conditions sont toutes différentes, le régulateur des moteurs est alors le seul facteur du fonctionnement en parallèle.

Pour que les charges puissent être également réparties il faut non seulement que les vitesses des deux alternateurs soient rigoureusement les mêmes pour une charge donnée, zéro par exemple, mais encore que les changements de vitesses quand on passe d'une charge à une autre soient les mêmes dans les deux machines. Dans le cas contraire la répartition égale des charges sur les deux alternateurs ne peut avoir lieu même si l'on modifie les excitations des deux alternateurs. Ceci tient à ce que les charges relatives prises par chacun des moteurs ne dépendent uniquement que de la valeur de l'introduction. La modification des excitations ne peut être employée utilement que pour amener le courant synchronisant au minimum.

Lorsque les génératrices ne sont pas de même puissance leurs régulateurs doivent agir de façon à ce que les chutes de vitesses soient proportionnelles aux charges sur les deux moteurs.

Pour montrer l'influence du régulateur M. Woodbrigde donne quelques courbes représentant les variations de vitesse en fonction de la charge.

Sur la figure 1 *ab* et *ac* sont les courbes des chutes de vitesses de chaque alternateur en fonction de leur charge marchant séparément. Les régulateurs sont tels que la vitesse soit la même à vide avant la mise en parallèle. Pour une vitesse de 90 tours par exemple des alternateurs synchronisés, les charges trans-

[1] Le réglage de l'excitation doit se faire sur tous les alternateurs en parallèle soit à l'aide d'un rhéostat général, soit à l'aide de rhéostats distincts manœuvrés tous ensemble.

mises aux arbres de chaque machine s'obtiennent évidemment en menant la parallèle *t* par le point 90 à l'axe des charges. Celles-ci sont respectivement de 90 et 110 kilowatts pour une valeur totale de 200 kilowatts, leur différence est d'environ 20 p. 100.

Sur la figure 2 les conditions sont un peu

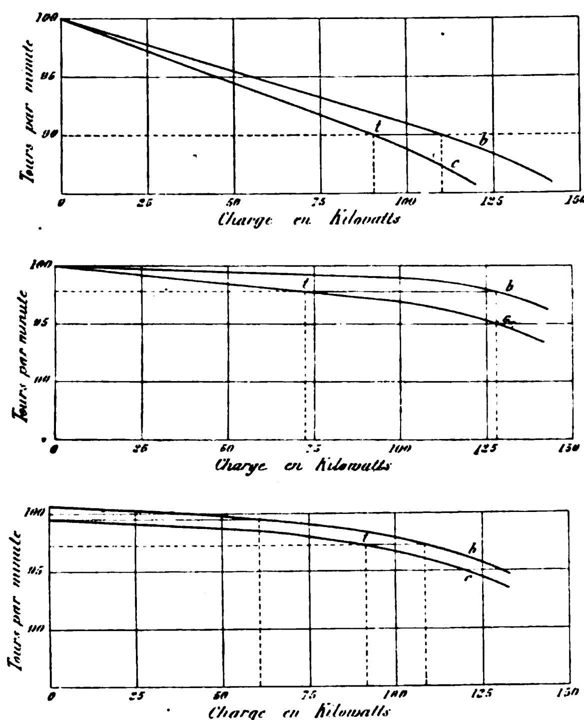


Fig. 1, 2 et 3. — Variations de vitesse d'alternateurs en fonction de la charge et répartition des charges par le fonctionnement en parallèle.

différentes, les alternateurs ont la même vitesse à vide ; les différences de vitesses pour les mêmes charges des machines fonctionnant isolément sont les mêmes que pour la figure 1, mais la chute de vitesse sur chaque machine est moins grande pour une charge donnée; autrement dit, la régulation est meilleure.

Pour la même charge totale de 200 kilowatts la vitesse est de 97,5 tours par seconde et les charges respectives de 70 et 130 kilowatts. On voit que l'on ne gagne rien au point de vue de la répartition des charges à avoir une meilleure régulation, et qu'il vaut mieux au contraire employer des moteurs dont la chute de vitesse est relativement grande pour une faible augmentation de charge.

La figure 3 se rapporte à un cas différent : celui où les courbes de variations de vitesse sont semblables mais diffèrent de 1 p. 100 pour chaque charge. Pour une valeur totale de 200 kilowatts, les parts des alternateurs sont de 92 et 108 kilowatts, mais la différence entre ces valeurs augmente lorsque la charge diminue en particulier pour une charge totale de 60 kilowatts l'alternateur dont la courbe de variation de vitesse est en dessous ne fournit plus aucune puissance à la ligne; au-dessous de cette puissance cette dynamo devient motrice et son moteur agit comme un frein.

Lorsque les alternateurs sont commandés par des courroies, les glissements de celles-ci tendent encore à augmenter la pente des courbes et par suite à rapprocher les charges des deux alternateurs.

La promptitude d'action des régulateurs a également une importance considérable dans le couplage en parallèle. Si les régulateurs n'agissent pas aussi rapidement l'un que l'autre, le premier agira trop et par suite devra agir à nouveau après le fonctionnement du second il se produira donc une série d'oscillations dans ces appareils lesquelles se traduiront par des fluctuations plus ou moins violentes dans les lampes. Ces oscillations seront d'autant plus violentes que les régulateurs seront plus voisins de fonctionner simultanément.

Les régulateurs isochrones ne peuvent être employés pour la marche en parallèle; si on a un des alternateurs qui tend à aller le plus vite il prendra toujours toute la charge, tandis que l'autre fonctionnera comme moteur. De plus, si les vitesses sont les mêmes la répartition des charges dépendra d'un équilibre indifférent et il pourra avoir oscillations de puissance d'un alternateur à l'autre sans que la charge totale change.

L'inertie des pièces en mouvement a également une influence sur le fonctionnement en synchronisme. Pour une brusque variation

de charge sur les moteurs la vitesse change un peu avant l'action du régulateur ; il faut donc que les variations de vitesse soient les mêmes et par suite que les inerties des deux systèmes soient égales ou tellement proportionnées pour qu'il en soit ainsi, si les puissances des deux groupes en parallèle ne sont pas de même valeur.

Les courbes 1 et 2 montrent également quelles conditions il faut remplir au moment de la mise en service d'une machine ; il faut charger à l'aide de résistances spéciales l'alternateur jusqu'à ce que sa vitesse soit égale à celle des autres en fonction. La mise en parallèle n'introduit alors aucune perturbation dans l'ensemble; toutefois il faut avouer que cette méthode, employée primitivement par la maison Ganz, manque de commodité.

Une méthode beaucoup plus simple consiste à permettre une modification à la main du régulateur de façon à pouvoir faire varier la vitesse de l'alternateur à mettre en service et l'amener à l'égalité avec celle du groupe en fonction; les machines une fois synchronisées le régulateur sera placé dans les conditions normales.

L'emploi de tels régulateurs combiné avec celui de wattmètres dans le circuit de chaque machine permet de répartir au gré du conducteur les charges des alternateurs en parallèle et de faciliter ainsi non seulement le fonctionnement normal à forte charge, mais aussi la mise hors service de la machine.

Pour terminer M. Woodbridge pense que le meilleur régulateur serait celui qui aurait pour effet de maintenir la même introduction dans tous les moteurs, la variation commune d'introduction se ferait par l'intermédiaire d'un appareil unique à force centrifuge à commande pneumatique, hydraulique, ou électrique comme par exemple un moteur synchrone branché entre les conducteurs principaux de l'usine.

J. R.

Attraction des solénoïdes sur leurs noyaux ;

Par W.-H. Chapman (1).

On a déjà fait de nombreuses recherches théoriques et expérimentales pour déterminer la force avec laquelle un solénoïde donné attire son noyau ou plongeur lorsque celui-ci occupe des positions différentes à l'intérieur de la bobine; on peut citer les travaux de Hankel, Dub, Von Waltenhofen, Von Feilitzsch, Th. Bruger, S.-P. Thompson.

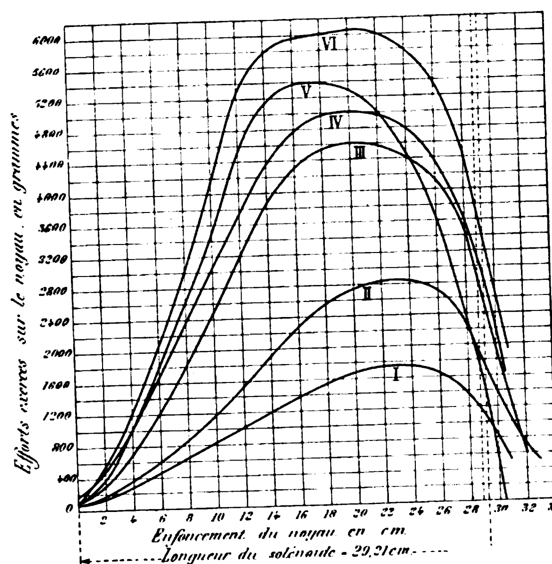


Fig. 1.

M. W.-H. Chapman a été amené à étudier la question pour déterminer les éléments de construction de son régulateur de tension que nous avons décrit jadis (2). Ses essais présentent un intérêt particulier en ce qu'ils permettent de comparer les résultats obtenus par des solénoïdes ordinaires et des solénoïdes cuirassés; la cuirasse ou revêtement extérieur en fer complétant le circuit magnétique, il était à prévoir qu'elle donnerait lieu à une action plus puissante. La grandeur des effets produits est donnée par les courbes ci-jointes (fig. 1) qui indiquent aussi comment

(1) *The Electrical Engineer* (*N. Y.*), 30 juin 1897, p. 748.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 513.

varie l'effort exercé sur le noyau lorsqu'on change la longueur de celui-ci ou le nombre d'ampères-tours dans le solénoïde. Toutes ces courbes ont été obtenues avec un solénoïde long de 29,21 cm. On portait en abscisses les longueurs dont le noyau plongeait dans la bobine et en ordonnées l'attraction exercée.

Le tableau I contient les données relatives à chaque courbe. G. P.

TABLEAU I

Conditions expérimentales.

N° des courbes.	Genre de solénoïde.	D. d. P. aux bornes du solénoïde.	Nombre d'ampères tours.	Puissance dépensée dans la bobine.	Longueur du noyau.	Diamètre du noyau.
I	ordinaire	115 volts	5 728	35 watts	35,56 cm	3,34 cm
II	cuirassé	»	»	»	»	»
III	»	180 volts		92 watts	»	»
IV	ordinaire	225 »	11 000		»	»
V	cuirassé	»	»		28,89 cm	»
VI	»	»	»		35,56 cm	»

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur l'analyse de l'aluminium et de ses alliages;

Par Henri MOISSAN [1].

« Nous avons insisté précédemment [2] sur les différentes impuretés que l'on rencontrait dans l'aluminium produit par électrolyse. Pour reconnaître et doser ces impuretés, nous avons indiqué, en 1895, une méthode d'analyse [3] des alliages d'aluminium qui présentait, il est vrai, l'inconvénient d'être assez longue et assez minutieuse.

» Dans une Note présentée le 8 juin 1897 et portant pour titre : *Essai des ustensiles en aluminium*, M. Balland [4] a proposé, pour abréger cette méthode, quelques modifications sur lesquelles je me vois forcé d'insister.

» Lorsqu'il s'agit d'aluminium non allié à d'autres métaux, M. Balland a conseillé d'attaquer l'échantillon par de l'acide chlorhydrique au $\frac{1}{5}$. Il considère le résidu qui reste après cette attaque comme étant formé par un mélange de silicium, de carbone et de cuivre [1]. Malheureusement, il n'en est rien. Ce mélange est beaucoup plus complexe.

» Nous avons traité 100 gr d'aluminium provenant de l'usine de Froges par de l'acide chlorhydrique au $\frac{1}{5}$. Le résidu lavé et calciné, qui était assez abondant, a été repris par les carbonates en fusion et l'on a dosé, dans le liquide limpide obtenu, le silicium, le fer et le cuivre. Nous avons trouvé ainsi les chiffres suivants :

	1.	2.
Silicium	68,97	51,71
Fer	9,54	23,66
Cuivre	3,63	5,18
Matières non dosées	17,86	19,45

» On voit donc que ce résidu contient au moins $\frac{1}{10}$ de fer, et que nous ne pouvons pas le considérer comme formé seulement de silicium, de carbone et de cuivre.

» Lorsqu'il s'agit d'aluminium allié au

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 276, séance du 2 août 1897.

(2) H. MOISSAN, Sur la présence du sodium dans l'aluminium préparé par électrolyse, *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 794; 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 522.

(3) H. MOISSAN, Analyse de l'aluminium et de ses alliages, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 851; 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 567.

(4) BALLAND, Essai des ustensiles en aluminium, *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1311; 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 191.

(1) Les échantillons d'aluminium produits par électrolyse renferment tous une petite quantité de cuivre.

cuivre, M. Balland attaque l'alliage par de l'acide chlorhydrique au $\frac{1}{10}$: « Le cuivre, « dit-il, reste absolument intact sous la forme d'un amas rougeâtre, spongieux. »

» En répétant l'attaque exactement dans les conditions indiquées par M. Balland, nous avons obtenu le cuivre en partie dans le résidu insoluble, et en partie dans aussi la solution filtrée. Le liquide limpide précipitait, en effet, par l'hydrogène sulfuré et le précipité noir, ainsi obtenu, présentait tous les caractères du sulfure de cuivre.

» Dans une deuxième fiole, M. Balland traite la même quantité d'alliage par l'acide chlorhydrique au $\frac{1}{10}$ additionné de 25 ou 30 gouttes d'acide nitrique : « En quelques « minutes, dit-il, tout le cuivre disparaît et « il ne reste que le silicium et le carbone « que l'on peut recueillir sur filtre et peser « après lavage et calcination » [1].

» Nous avons fait l'analyse quantitative du résidu ainsi obtenu et nous avons trouvé qu'il renfermait :

Silicium	71,00
Cuivre	8,75
Fer	17,50
Matières dosées	2,75

» Ce mélange est donc très riche en fer et ne peut être regardé comme ne contenant que du silicium et du carbone.

» Nous ajouterons qu'il nous semble très important, dans l'état actuel de l'industrie de l'aluminium, de faire des analyses très sérieuses de ce métal et de ses différents alliages. C'est parce que, jusqu'ici, la question analytique a été trop négligée que de nombreux déboires se sont rencontrés dans l'application de l'aluminium.

» La fabrication des objets de petit équipement destinés à l'armée doit être faite avec un métal d'autant plus pur que ces objets doivent être conservés longtemps en magasin. C'est justement en exigeant un métal de plus en plus pur que la Commission de l'aluminium a pu faire produire couramment à une usine française un aluminium ne contenant plus que 5 p. 1 000 d'impuretés.

» Je citerai sur ce sujet les analyses suivantes :

	1.	2.	3.
Aluminium	99,21	99,40	99,61
Fer	0,54	0,51	0,46
Silicium	0,06	0,05	0,66
Sodium	0,02	0,02	0,00
Cuivre	traces	traces	traces

» La conséquence naturelle de cette préparation plus soignée a été de faciliter l'estampage et le travail de l'aluminium.

» Nous estimons donc que, sous prétexte de diminuer la longueur de l'analyse, nous ne pouvons pas recourir à des méthodes imparfaites et qu'il est de toute utilité de connaître exactement la teneur en fer, en silicium et en sodium, des aluminiums ou des alliages servant à la fabrication des bidons et des gamelles de l'armée. »

Recherches sur les rayons cathodiques simples;

Par H. Deslandres [1].

« Je présente la suite des recherches entreprises sur le spectre cathodique et sur les rayons cathodiques simples qui sont obtenus par l'action d'un fil métallique latéral, perpendiculaire aux rayons, et relié à un conducteur extérieur [2]. Le tube à vide employé est celui qui a été décrit dans la note précédente.

» Le spectre cathodique, ordinairement large et formé de raies nombreuses, est sous la dépendance étroite des conducteurs et des appareils qui concourent à la décharge. Il peut être réduit à une raie simple unique, comme je l'ai montré précédemment, lorsqu'on illu-

(1) Le dosage du silicium et du carbone est impraticable dans ces conditions.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, d. 373, séance du 16 août 1897.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 678, 945; 1897. — *L'Éclairage Électrique*, s. XI, p. 115 et 468, 10 avril et 20 août 1897.

mine le tube avec l'appareil Tesla-d'Arsonval, ou plus simplement avec une bobine ordinaire, complétée par un condensateur qui est intercalé sur le fil cathodique (ou fil reliant la cathode à la borne négative).

» Cependant, dans les deux cas, l'apparition de la raie simple unique exige un réglage particulier, qui agit sur les périodes d'oscillation électrique d'une ou plusieurs parties du système, et sur lequel il convient d'insister.

» Avec l'appareil Tesla-d'Arsonval, les raies cathodiques, d'abord multiples, se condensent en une raie simple unique, pour une longueur déterminée de l'étincelle. A ce moment, le circuit secondaire de la bobine et le circuit secondaire du transformateur sont évidemment en résonance. Cette expérience confirme même des résultats antérieurs obtenus par une voie tout autre sur le réglage des appareils à haute fréquence.

» Avec la bobine et le condensateur sur le fil cathodique, les résultats sont analogues. Le condensateur est à plateaux mobiles, et, pour un écartement particulier de ces plateaux, les deux raies plus ou moins larges du spectre ordinaire se réduisent à une seule raie fine. A ce moment, le système formé par un plateau du condensateur et la cathode, et, d'autre part, le tube lui-même, sont vraisemblablement en résonance.

» Car le tube à vide a une période propre d'oscillation, et l'expérience suivante le démontre : les deux électrodes sont réunies par un micromètre à étincelle. Lorsque la bobine se décharge dans le micromètre, les électrodes et le tube forment un excitateur de Herz ; or, non seulement elles émettent un rayonnement extérieur, mais, à l'intérieur du tube, la cathode émet en même temps un rayonnement cathodique, qui est formé par une raie unique [1] et représente l'oscillation propre du tube.

» De plus, cette raie unique et les deux raies uniques des deux dispositifs précédents ont sensiblement la même déviation. Dans les trois cas, les conditions ont dû être telles que le tube a vibré isolément avec sa période propre.

[1] Cette raie unique se retrouve dans le spectre complexe obtenu lorsque la décharge passe entièrement dans le tube. Elle est alors, en général, la raie la plus déviée.

» Je reviens au condensateur du fil cathodique. Les deux raies du spectre ordinaire ont une déviation moyenne qui croît avec l'écartement des plateaux. Donc la déviation du rayon croît avec la fréquence de l'oscillation, au moins dans les limites spéciales de l'expérience [1].

» De plus, la capacité qui doit être donnée au condensateur du fil cathodique, pour avoir la raie unique, augmente ou diminue en même temps que la capacité du conducteur extérieur relié au fil métallique qui produit les déviations. Par suite, les capacités ajoutées au tube, les attouchements avec le doigt, modifient la période du tube ; le spectre étudié se rapporte à un tube modifié ; mais les résultats peuvent être étendus au cas où la capacité seule du tube intervient.

» Les recherches précédentes ont été faites à la pression relativement haute qui correspond à une distance explosive de 10 mm à 20 mm dans l'air. Elles ont été poursuivies aux distances explosives plus grandes qui correspondent à l'émission la plus forte des rayons X. Or, dans cette phase nouvelle, les rayons de forte déviation subsistent seuls et en petit nombre. Ils varient moins avec des bobines différentes et parfois se succèdent à des intervalles réguliers comme les intervalles des harmoniques sonores. Le fil métallique déviant, non relié à un conducteur extérieur, suffit alors, avec sa faible capacité, à dévier une raie forte, qui, pour plusieurs raisons, doit être rapportée à un harmonique supérieur du tube. Bref, lorsque les rayons X prédominent, les raies cathodiques fortement déviées qui correspondent aux oscillations simples plus rapides prédominent également.

[1] La loi simple ainsi posée ne peut être générale, puisque les rayons sont parfois attirés et non repoussés.

» On est ainsi conduit à rechercher pour les rayons X un mode d'excitation qui favorise la résonance du tube et de ses harmoniques supérieurs, et même à indiquer les tubes à vide très petits, qui, l'intensité étant mise à part, ont naturellement des oscillations très rapides [1].

» Cependant, j'ai étudié aussi l'action de l'aimant sur les rayons, en les isolant, suivant le conseil de M. Poincaré, non plus par une fente, mais par un petit trou. Après avoir étalé, par une capacité, le rayonnement cathodique en un spectre de rayons simples, on fait agir l'aimant qui les déplace dans une direction perpendiculaire. Or, lorsque l'on va des rayons moins déviés par la capacité aux rayons plus déviés, le déplacement par l'aimant décroît d'abord jusqu'à un minimum, puis, souvent ensuite, augmente jusqu'à un maximum et, parfois, aux basses pressions, présente un second minimum et un second maximum qui sont d'ailleurs notablement plus petits que les précédents. Ces maxima et minima semblent correspondre aux oscillations propres du tube. D'une manière générale, les variations périodiques précédentes étant mises à part, le déplacement par l'aimant est d'autant moindre que la déviation par la capacité est plus grande.

» Autre fait curieux constaté avec le trou : le rayon dévié par une capacité s'étale dans le sens perpendiculaire à la déviation, d'autant plus que la déviation est plus grande. »

Action des tubes de Rœntgen derrière les écrans opaques aux rayons X ;

Par Abel BUGUET [2].

« Dans une précédente note [3] j'ai montré qu'une plaque photographique, exposée derrière un écran opaque aux rayons X, en face d'un tube de Rœntgen en activité, peut être impressionnée sur toute sa surface, même en des points qui ne voient rien du tube [1].

» Tantôt ces radiations reçues dans l'ombre géométrique ont les mêmes directions que si elles émanaient de la source même des rayons X (*clichés* 1 et 2) ; tantôt ces directions sont plus mal définies, en particulier lorsque l'écran est très voisin de la plaque sensible (*cliché* 3).

» Lorsque la source est un tube Colardeau, les choses se passent de même façon, que celui-ci soit nu (*clichés* 1 et 2) ou diaphragmé (*cliché* 4).

» Ces radiations sont plus faibles et plus confuses lorsqu'elles ont traversé de la paraffine au lieu d'air (*cliché* 5).

» Ces radiations se montrent dans tout l'espace qui environne le tube. Elles impressionnent de même des plaques tournant le dos à la source, au voisinage de celle-ci, dans des orientations diverses, lorsqu'elles sont protégées contre l'action directe des rayons X par des plaques opaques mises en relation avec la terre (*clichés* 6 et 7).

» L'intensité de l'impression décroît à partir des points de l'air qui sont directement atteints par les rayons X (*clichés* 6, 7 et 8).

» Ces radiations ne proviennent pas, du moins essentiellement, des corps solides employés dans les expériences. Elles sont atténuées lorsque la surface sensible est plus ou moins masquée par des feuilles de papier, d'aluminium, d'étain, d'argent ou de plomb (*clichés* 9 et 10).

» Elles traversent inégalement le papier

(1) Il faut recommander aussi les systèmes qui donnent la raie cathodique simple unique, comme susceptibles de fournir un rayonnement X homogène ou plus homogène que le rayonnement habituel.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 375, séance du 16 août 1897.

(3) *Comptes rendus*, 2 novembre 1896. — *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 325, 1896.

(1) M. SAGNAC (*Comptes rendus*, 23 novembre 1896. — *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 408, 28 novembre 1896) a cru voir là des effets de pénombre. Je disais pourtant bien dans ma note que je ne m'intéressais qu'à ce qui se passe dans l'ombre géométrique absolue. La description du cliché 1 rappellera que l'observation de M. Sagnac ne s'appliquait pas à mes expériences d'alors. D'ailleurs, l'impression, dans l'ombre géométrique d'écrans opaques, est surabondamment confirmée par les expériences décrites, aux *Comptes rendus*, par M. Villard le 26 juillet 1897, et par M. Sagnac lui-même les 17 et 26 juillet 1897. —*L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 320, 281 et 318, 7 août et 31 juillet 1897.

blanc ou noir, l'aluminium, l'étain (*cliché* 10). Elles n'ont pas traversé une feuille de plomb de 0,5 mm.

» Ces radiations peuvent être employées à la radiographie de corps partiellement opaques, dans des cas où l'action directe des rayons X serait arrêtée par des obstacles infranchissables (*cliché* 11).

» Le phénomène ne semble pas affecté par un champ magnétique ni par un vent puissant balayant l'air au voisinage de la couche sensible.

» Ces phénomènes s'expliqueraient par la diffusion des rayons X dans l'air, la paraffine ou autres milieux plus ou moins transparents, ou bien par la fluorescence qu'ils y provoqueraient.

» *Cliché* 1. — Impression obtenue à 160 mm d'un tube Colardeau actionné faiblement durant trente minutes, derrière un disque opaque de plomb de 30 mm de diamètre, placé normalement à l'axe du faisceau de rayons X, à 125 mm de la plaque. Les directions des radiations de derrière l'écran sont données par les directions centrifuges des projections d'épingles piquées normalement dans une feuille de liège qui repose sur la plaque sensible (16 octobre 1896).

» *Cliché* 2. — Obtenu comme le cliché 1, avec un autre tube Colardeau.

» *Cliché* 3. — Impression à projections multiples derrière une pièce de cinq francs placée à 50 mm de la plaque sensible, qui est elle-même à 90 mm du tube Colardeau, diaphragmé de façon à n'admettre que les radiations de l'ampoule qui entoure l'anticathode.

» *Cliché* 4. — Obtenu comme les clichés 1 et 2, mais le tube est diaphragmé à 22 mm de diamètre.

» *Cliché* 5. — Obtenu au travers de 65 mm de paraffine.

» *Cliché* 6. — Plaque exposée sous un test à épingles. La gélatine est perpendiculaire à l'axe du faisceau des rayons X, mais placée à côté du tube de façon à n'en arrêter aucun. Les épingles ont porté des ombres qui divergent de l'anticathode marquée par un petit plomb.

» *Cliché* 7. — Comme 6; mais la plaque est parallèle à l'axe du faisceau des rayons X et à la branche principale du tube.

» *Cliché* 8. — Plaque couverte d'une toile métallique et tournant le dos au faisceau de rayons X. On voit que l'impression décroît des bords vers le milieu.

» *Cliché* 9. — Plaque précédente sur laquelle est placée une lame de plomb enroulée en cylindre. L'impression intérieure n'est venue que de l'air qui s'étend de là jusqu'à 75 cm.

» *Cliché* 10. — Le cylindre de plomb du cliché 9 étant bouché par une pièce de cinq francs, il n'y a plus d'impression à l'intérieur. A côté, une échelle d'épaisseurs, en feuilles d'étain, montre que les radiations ont traversé environ 0,25 mm d'étain.

» *Cliché* 11. — Des découpages en fer et cuivre ont été radiographiés derrière un écran opaque qui protégeait la plaque sensible tournant le dos au tube. Les radiations qui ont agi venaient donc dans un sens inverse de celui de la marche des rayons X. »

Recherches sur les substances diamagnétiques et faiblement magnétiques;

Par Luigi Lombardi [1].

Les substances diamagnétiques, quoique d'une importance pratique beaucoup moindre que le fer et les autres substances paramagnétiques, sont extrêmement nombreuses, et les phénomènes de polarisation qu'elles présentent sont si singuliers qu'ils ont un grand intérêt scientifique. Mais leur étude est rendue difficile par la petitesse des effets utilisables. Aussi la plupart des observations faites jusqu'à présent sont-elles seulement qualitatives; peu d'entre elles fournissent des résultats numériques exprimés en unités absolues.

La susceptibilité n'a été déterminée que pour quelques corps choisis parmi les plus diamagnétiques. Son indépendance de la

[1] *Atti del. Reale Acc. del. Sc di Torino*, 1896-97.

force magnétisante a été vérifiée seulement entre d'étroites limites, et quelques auteurs l'ont mise en doute. Enfin, aucune étude systématique n'a été faite relativement à l'existence de l'hystérésis diamagnétique. L'auteur a voulu combler ces lacunes.

Il étudie assez longuement les différentes méthodes de mesure susceptibles d'être appliquées. Vu la difficulté de production d'un champ uniforme, l'auteur choisit des méthodes utilisant pour la détermination de la perméabilité l'action exercée sur le corps par un champ non uniforme; les méthodes suivantes de Boltzmann susceptibles d'une grande précision sont appliquées :

a. Un cylindre diamagnétique de rayon ρ, de longueur $\lambda = 2$ m, et de volume V, est suspendu coaxialement devant une bobine de rayon b et de grande longueur l, de manière que le milieu du cylindre soit dans le plan polaire de la bobine. Si cette dernière présente N tours par unité de longueur et est traversée par un courant i, le cylindre est soumis à une force répulsive le long de l'axe égale à

$$f = \frac{4\pi^2\varkappa^2 N^2 i^2 V}{\sqrt{b^2 + m^2}}$$

$\varkappa$ étant la susceptibilité.

b. Un cylindre suspendu au centre d'une bobine de petite longueur $2h$ fait avec l'axe de celle-ci un angle α; le couple qui tend à faire coïncider les axes est:

$$\frac{3\pi^3 N^2 i^2 h^2 \rho^2 b^2 \lambda^3 \varkappa \sin 2\alpha}{(b^2 + h^2)^3}\left(1 - \frac{9\rho^2}{2\lambda^2}\right),$$

si ρ est petit par rapport à λ. L'action par unité de longueur de fil est maxima pour $b = h$.

c. Le cylindre est suspendu à égale distance h des extrémités, en regard de deux bobines très longues enroulées en sens contraires; le couple qui tend à amener à 90° l'angle α entre les axes est :

$$\frac{\pi^3 N^2 i^2 \rho^2 b^4 \lambda^3 \varkappa \sin 2\alpha}{2(b^2 + h^2)^3}\left(1 - \frac{9\rho^2}{2\lambda^2}\right).$$

d. Le cylindre est suspendu à l'extérieur de la bobine, son centre étant dans le prolongement de l'axe de celle-ci à une distance h de son extrémité, les deux axes faisant entre eux un petit angle α. Le couple qui tend à placer les deux axes normalement l'un à l'autre est une fonction compliquée de h. Pour $h = 0$, l'expression du couple est

$$\pi^3 \varkappa N^2 i^2 \rho^2 b^2 \alpha \left[\frac{(13\lambda^2 + 12 b^2)\lambda}{2(4b^2 + \lambda^2)} - \frac{3}{4b}\,\text{arc tang}\,\frac{\lambda}{2b}\right].$$

La méthode *a* a servi à déterminer les valeurs absolues de la susceptibilité. La bobine avait 1 m de long et comprenait 16 couches de fil en quatre groupes qu'on pouvait intercaler séparément. La suspension était bifilaire. Les substances employées étaient de la plus grande pureté. Les résultats suivants sont exprimés par rapport à la susceptibilité de l'air prise pour unité.

SUBSTANCES	QUALITÉ	$10^6 \varkappa$.
Bismuth	Pur.	— 13,3
»	Du commerce	— 12,0
Antimoine	Pur.	— 3,75
»	Du commerce	— 3,42
Zinc	Pur.	— 1,05
»	Du commerce	— 0,93
Plomb	»	— 0,86
Aluminium. . . .	»	+ 1,66
Laiton	Fil.	— 1,23
»	Barre.	— 1,45
Maillechort . . .	Fil.	+ 4,51
» . . .	Barre.	+ 5,14
Soufre	Bâton.	— 0,87
»	»	— 0,89
Colophane	»	— 0,93
»	»	— 1,01
Stéarine	»	— 0,74
»	»	— 0,82
Spermaceti. . . .	»	— 0,73
» . . .	»	— 0,74
Paraffine	»	— 0,77
»	»	— 0,80
Cire blanche . . .	»	— 0,80
» . . .	»	— 0,82
Verre	Ordinaire.	+ 1,35
Fibre durcie . . .	»	+ 10,2
Ébonite.	»	+ 34,0

Des échantillons de toutes les substances ci-dessus ont été soumis à des forces magnétisantes variant de quelques dizaines à plusieurs centaines d'unités. Pour les corps solides faiblement paramagnétiques, les résultats sont faussés par la présence de traces de fer qui produisent un semblant de variation de la susceptibilité. Dans les substances diamagnétiques et dans les solutions magnétiques des sels de fer chimiquement purs, l'auteur n'a constaté aucun changement de la susceptibilité. Les intensiés de champ variaient de 130 à 2000 unités environ.

Ces expériences ne suffiraient pas pour démontrer l'abscence d'hystérésis, car dans les corps très paramagnétiques, le phénomène d'hystérésis est très marqué même dans les régions où la susceptibilité ne varie presque pas.

Pour les substances diamagnétiques solides, on a employé des électro-aimants à noyaux de fer, laminés longitudinalement écartés de 6,2 cm. Ils produisaient un champ sensiblement symétrique par rapport à la ligne centrale, mais décroissant rapidement dans le sens radial. Les cylindres diamagnétiques, de 5 cm de longueur, étaient ainsi soumis à un couple relativement énergique tendant à les placer transversalement et mesuré par une suspension bifilaire. Les résultats obtenus sont indiqués dans la table suivante, ou *d* est la déviation galvanométrique indiquant l'intensité de champ, B, S, P, les déviations données respectivement par les cylindres de bismuth, de soufre et de paraffine.

d.	B	S	P
8,2	—	—	—
31,6	4,4	6,6	11,2
76,4	25,7	39,2	60,5
107,5	51,0	74,1	116,0
144,3	89,9	132,3	205,0
180,4	138,5	199,6	319,5
203,5	174,0	249,0	396,0
221,0	203,7	288,7	458,0
210,7	185,3	264,5	419,5
192,2	156,7	224,6	357,5
160,4	110,7	160,8	253,5
123,6	66,8	98,5	154,0
93,2	38,7	57,0	91,4
49,0	10,2	15,6	24,0
8,2	—	—	—

Ces résultats montrent nettement l'absence de l'hystérésis dans les corps diamagnétiques. Les solutions de sels magnétiques donnent des résultats analogues. La courbe de l'aimantation en fonction de la force magnétisante pour des champs variant entre zéro et plusieurs milliers d'unités est une droite passant par l'origine. Et quand la variation est cyclique entre ces limites, la courbe ne dévie pas d'une façon appréciable de son chemin. Ceci ne s'applique pas aux corps faiblement paramagnétiques tels que l'ébonite ou la fibre durcie, qui doivent leurs propriétés magnétiques à des traces de fer. Ils manifestent distinctement de l'hystérésis. Ces différents résultats ont été vérifiés par des expériences faites avec des champs magnétiques tournants. A. H.

CHRONIQUE

Action des courants de haute fréquence sur la tension artérielle. — A la séance de l'Académie des Sciences du 2 août, M. A. Moutier présentait à ce sujet une note dont voici un extrait :

« M. d'Arsonval a déjà signalé que les courants de haute fréquence déterminent une élévation de la tension artérielle chez l'homme et chez les animaux ; nos expériences nous ont donné les mêmes résultats, mais nous avons obtenu une élévation beaucoup plus considérable en augmentant la tension de ces courants à l'aide du résonateur de M. Oudin.

» En produisant des étincelles ou même des effluves à l'aide de l'excitateur de cet appareil, le long de la colonne vertébrale chez l'homme, et en opérant principalement de haut en bas; nous

avons obtenu des élévations de 4 cm, 5 cm, 6 cm et même 8 cm de mercure...

» Cette tension normale est obtenue d'une façon beaucoup plus rapide qu'avec les autres moyens usités jusqu'à présent, y compris les transfusions hypodermiques du sérum artificiel... »

Traitement électrique palliatif du tic douloureux de la face. — Voici ce que disait à ce propos M. J. Bergonié dans une note présentée à l'Académie des Sciences le 2 août :

« Le courant électrique, sous toutes ces formes, est compris dans la thérapeutique de la névralgie du trijumeau. Cette note a pour but de fixer la forme et la technique d'un traitement, expérimenté depuis plus de dix ans, et qui consiste dans l'emploi percutané du courant continu avec de très hautes intensités et une longue durée.

» L'électrode active a la forme d'un demi-masque et couvre exactement tout le territoire innervé par le trijumeau; elle est reliée au pôle positif; sa surface varie entre 200 cm^2 et 250 cm^2; elle en étain malléable, recouvert d'une couche de feutre débordant le métal d'un demi-centimètre, et se moule exactement sur la face du malade, où elle est maintenue par deux ou trois tours de bande de caoutchouc. Le circuit comprend un électromoteur à courant continu (électromoteur chimique de préférence), donnant à peu près 50 volts; un rhéostat, un milliampèremètre, l'électrode active, l'électrode indifférente, placée au niveau de la région dorsale de 400 cm^2 à 500 cm^2; les conducteurs complétant le circuit doivent présenter toute sécurité dans leur continuité et aux points de contact.

» Les électrodes étant convenablement imbibées d'eau chaude et exactement appliquées, on élève progressivement et très lentement l'intensité du courant, jusqu'à ce qu'elle atteigne 35, 40 et jusqu'à 50 milliampères. (On emploie d'abord l'intensité minima, pour atteindre ensuite, dans les séances ultérieures, des intensités plus élevées.) La période d'ascension du courant doit durer sept à dix minutes, et, si l'application est convenablement faite, aucun vertige, aucun phosphène, aucune sensation douloureuse vive ne peut se produire. L'intensité maxima étant atteinte, on la laisse constante pendant quinze, vingt ou vingt-cinq minutes; puis à cette période succède la période décroissante du courant, pendant laquelle l'intensité est lentement ramenée à zéro.

» Parmi les malades auxquels on a eu l'occasion d'appliquer ce traitement, dix ont pu être suivis pendant une durée qui varie de trois à dix années. Chez tous, l'effet palliatif de ces applications a été très marqué. Chez trois malades en particulier, les crises douloureuses ne se produisent plus qu'à des intervalles de six mois, onze mois, trois ans; chez tous les autres, les intervalles des crises ont toujours été augmentés dès le début du traitement.

» En résumé, après les applications, l'excitabilité sensitive particulière du nerf est très diminuée ou supprimée, les périodes de crise s'éloignent de plus en plus, les crises se font de plus en plus rares et moins intenses. »

Projet d'une transmission d'énergie électrique de 128 km de longueur. — Jusqu'alors nous dit *The Electrical News*, les transmissions de Niagara-Buffalo (42 km) et de Odgen-Salt-City (52,8 km) détenaient le record des transports de force à longue distance; cette suprématie ne leur sera plus bien longtemps maintenue car la Southern California Power Company vient de passer un contrat avec la General Electric Company pour l'équipement d'une ligne dont la longueur est de 80 miles (exactement 128,24 km). Cette nouvelle ligne sera trois fois aussi longue et transportera quatre fois autant d'énergie que la ligne de Niagara-Buffalo.

La station génératrice, dont l'emplacement a été choisi à environ 18 km de Redlands, utilisera les eaux du Santa Ana Canyon qui seront à cet effet dérivées par des canaux et amenées à Bear Creek point de départ de la conduite forcée longue de 660 m qui les amènera finalement aux turbines de la station avec une chute de 225 m.

Le matériel générateur prévu se compose de 4 alternateurs triphasés d'une puissance individuelle de 750 kilowatts accouplés à un nombre égal de turbines.

Le courant sera transformé, avant son envoi sur la ligne, en courant à haut potentiel à 33000 volts. Notre confrère *The Electrician*, de Londres, qui se fait l'écho de cette nouvelle assure que, quoique des soins spéciaux soient dans l'établissement de la ligne pour en assurer l'isolement, la transmission du courant sous un potentiel aussi élevé lui paraît facile à réaliser à l'aide des moyens que l'on possède actuellement.

Statistique des stations centrales en Allemagne. — L'industrie électrique a fait, du 1er octobre 1896 au 1er mars 1897, de très notables progrès en Allemagne. D'après les tableaux détaillés que vient de publier notre confrère *Elektrotechnische Zeitschrift* nous constatons que le nombre des stations centrales actuellement en exploitation dans l'Empire allemand est de 265, contre 180 en 1895 et 148 en 1894. Leur classement suivant la nature du courant produit est indiqué par le tableau suivant, dans lequel ne sont pas comprises ni les stations en cours d'érection et ni celles projetées, dont le nombre total, au 1er mars 1897, s'élevait à 82.

		1894	1895	1896-97
Courant continu. . . .	Nombre de stations.	120	139	204
	Puissance en kilowatts.	30 468	35 166	54 273
Courant alternatif. . .	Nombre de stations.	15	16	26
	Puissance en kilowatts.	4 208	4 396	11 269
Courant triphasé . . .	Nombre de stations	8	12	16
	Puissance en kilowatts.	2858	4468	7685
Courant triphasé transformé (acc.). . . .	Nombre de stations.	2	4	11
	Puissance en kilowatts.	646	1 746	4 360
Courant alternatif transformé (acc.). . .	Nombre de stations.	3	2	3
	Puissance de kilowatts.	175	115	607

On voit que la puissance des stations à courant continu a augmenté de 54 p. 100 sur l'année 1895 ; et celle des stations à courant alternatif simple ou biphasé, de 150 p. 100. Si le nombre et la puissance des stations à courant triphasé n'ont pas subi un accroissement aussi notable pendant la même période, on remarque néanmoins que la puissance est triple de ce qu'elle était en 1894, et, d'après ce que nous dit notre confrère, leur avenir se présente sous un jour favorable.

L'emploi des accumulateurs est toujours en faveur dans les stations, quelle que soit la nature du courant produit; leur puissance actuelle est de 10 896,5 kilowatts.

L'énergie motrice initiale est empruntée aux différents agents dont l'énumération, ainsi que le nombre des stations correspondantes, est indiquée sous le tableau ci-dessous :

Energie motrice.	Nombre de stations.	Puissance en kw
Vapeur.	151	56461,8
Hydraulique	45	4301,7
Gaz	6	460
Air comprimé	1	14
Électromoteurs	3	126
Hydraulique et vapeur (syst. mixtes)	45	5255,5
Hydraulique et gaz (syst. mixtes).	3	190
Vapeur et gaz (syst. mixtes).	4	553
Hydraulique et benzine (moteurs à)	1	17,6
Totaux	264	67340,1

A ce nombre de 264 stations, il convient d'ajouter celle de la Königin Augustastrasse, à Berlin, que notre confrère a omis volontairement de citer pour plusieurs raisons dont il donne l'explication.

Le tableau ci-dessous donne une idée de l'utilisation de l'énergie électrique produite par toutes ces stations et les progrès accomplis sur les deux années précédentes :

Éclairage.	1894	1895	1896-97
Lampes connectées consommant 50 watts . .	493081	602986	1025785
Lampes à arc de 10 ampères.	12357	15396	25024
Force motrice.			
Moteurs connectés (puissance totale)	5635	10254	21809

Berlin possède actuellement 5 stations centrales représentant ensemble 10 968 kilowatts. La plus importante de ces stations est celle de la Manerstrasse qui, à elle seule, représente 5 486 kilowatts de la puissance totale.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. **Samedi 11 Septembre 1897** **4e Année. — N° 37.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA TRACTION ÉLECTRIQUE SUR LES CANAUX

Depuis longtemps, on cherche à améliorer les conditions de la traction sur les canaux. Jusqu'à présent, la traction animale était restée seule maîtresse de ce genre d'exploitation et les quelques essais de traction mécanique, tentés pendant ces dernières années (câbles funiculaires, remorqueurs, toueurs, etc.), n'ont pas donné lieu à des applications industrielles, malgré les nombreux avantages techniques que ces systèmes présentaient sur l'antique mode de halage par chevaux. Aussi, faut-il chercher la raison de cet échec dans des considérations d'ordre commercial plutôt que technique : les prix de revient de traction, par kilomètre, des systèmes proposés ne pouvaient pas lutter avec les prix consentis par les entrepreneurs de halage par chevaux et les avantages obtenus ne pouvaient pas compenser l'augmentation, très sensible, des prix résultant de ces nouveaux systèmes.

La traction électrique semble devoir résoudre cet important problème, car, comme nous le verrons dans le cours de cette étude, les prix obtenus par kilomètre sont très avantageux et les progrès réalisés, avec ce système, semblent devoir amener, sur les canaux à trafic important, la suppression du halage par chevaux.

Les premiers essais pratiques de traction électrique, sur les canaux, furent tentés, en France, par MM. Denèfle, Michel Gaillot, Papot et Brueder, qui, depuis, ont créé la Société de Traction Électrique sur les voies navigables, laquelle exploite leurs brevets.

C'est cette Société qui, d'après les expériences concluantes faites sur le canal de Bourgogne [1], vient d'équiper 26 kilomètres sur les canaux d'Aire et de la Deule, entre Marles et Pont à Vendin.

Nous allons décrire avec quelques détails ces intéressantes installations, qui viennent d'être mises en marche et dont l'importance sera augmentée d'ici peu de temps.

Principe du système. — Le principe appliqué est celui très connu du système « dit à trôlet », employé dans les tramways électriques : une station centrale génératrice distribue l'énergie électrique par l'intermédiaire d'un fil, placé le long du canal à exploiter. Pour tractionner le bateau à remorquer deux systèmes sont employés : 1° celui du *cheval électrique* qui se meut sur le chemin de halage; 2° celui du *bachot propulseur*, placé directement sur le bateau qu'il remorque.

Stations centrales génératrices. — Pour

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 212, 30 janvier 1897.

alimenter les 26 kilomètres équipés électriquement, il y a deux stations centrales, placées en A et B (fig. 1; voir également la carte des canaux de la région du nord encartée dans ce numéro) : l'usine de Beuvry est située au kilomètre 7; celle de Bauvin, au kilomètre 20.

Ces deux usines ont la même capacité et

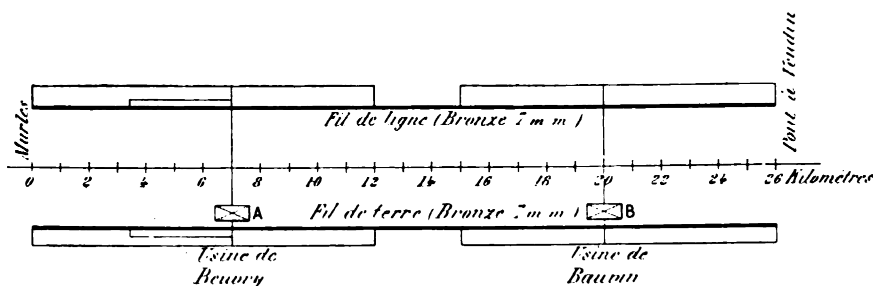


Fig. 1.

sont absolument semblables dans leur ensemble, comme dans leurs détails.

Chaque station a une capacité de 200 chevaux-vapeur, répartis en quatre groupes égaux de 50 chevaux-vapeur chacun (fig. 2 et 3). Les machines à vapeur, construites par la Société de construction mécanique de Saint-Quentin et la maison Blondel, sont du type

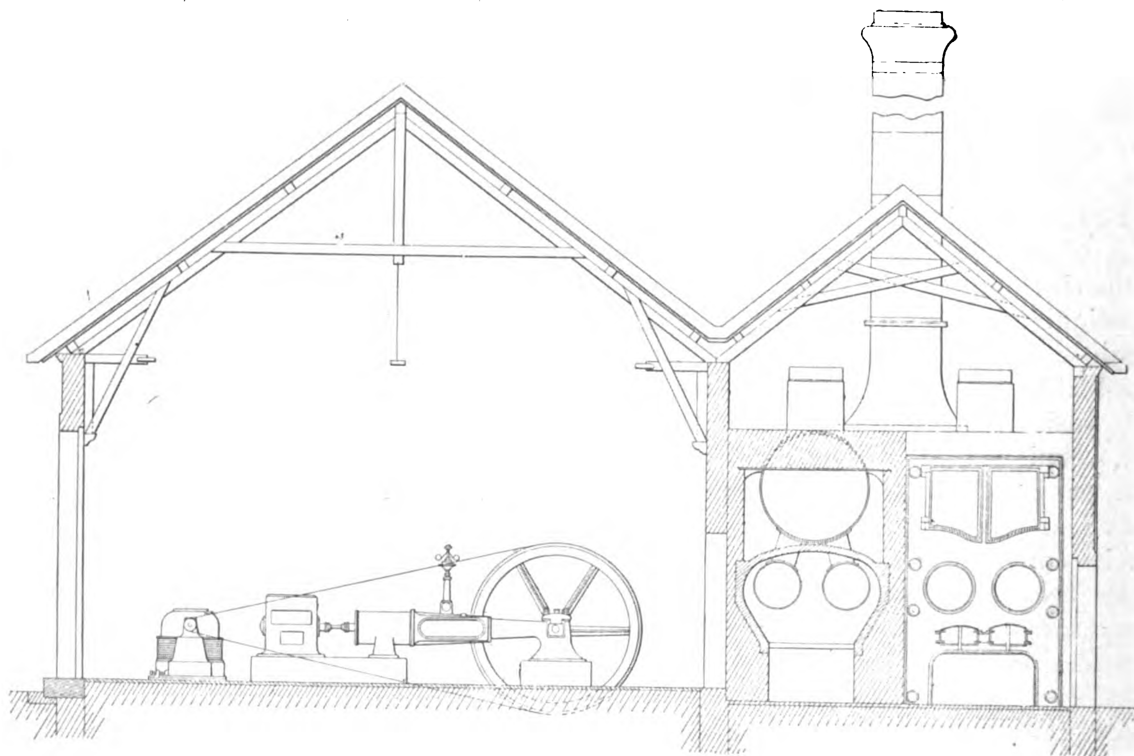
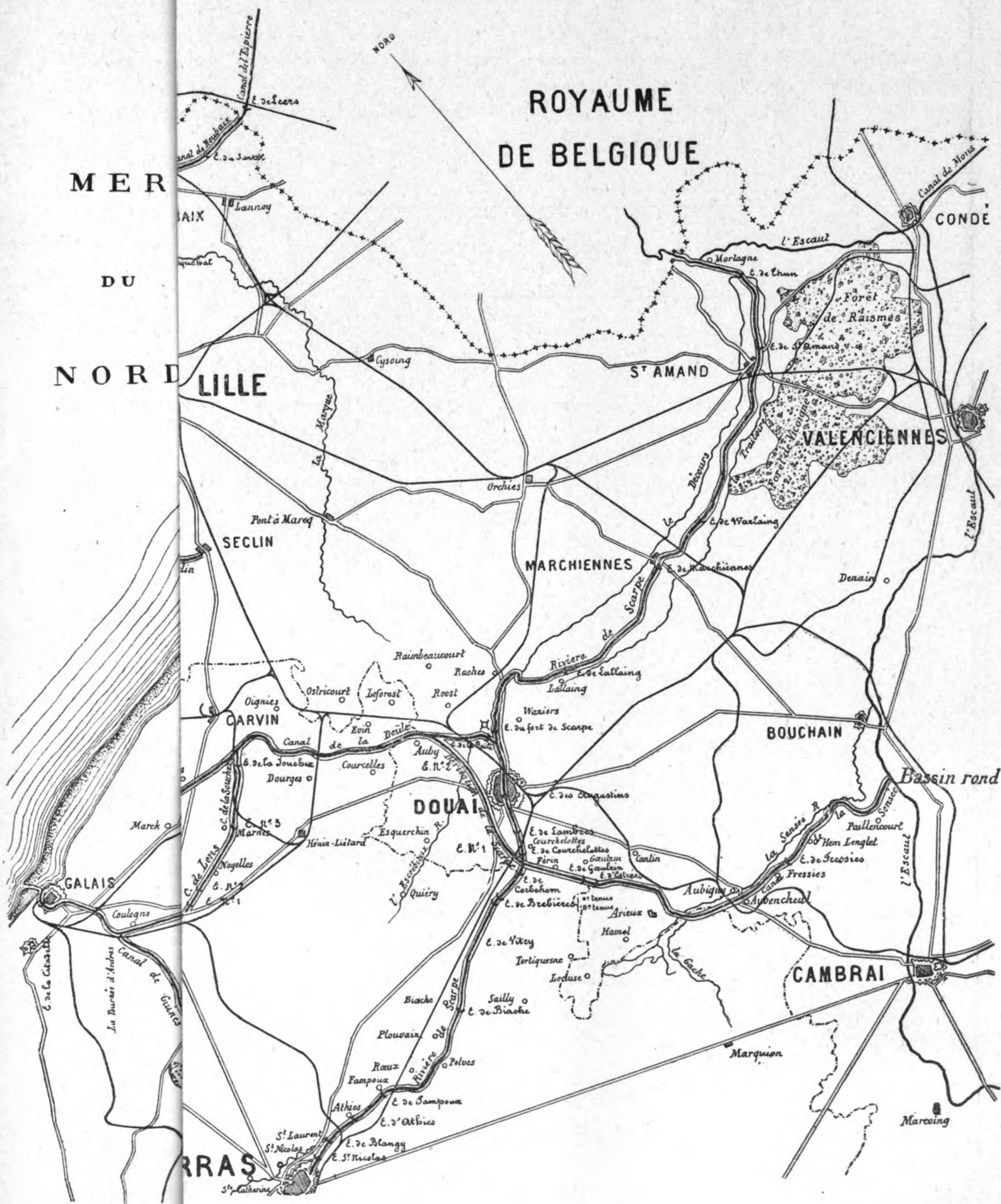


Fig. 2. — Coupe transversale d'une station génératrice.

horizontal, à détente Rieder. Les diamètres des pistons sont de 320 mm ou de 350 mm pour 90 ou 95 tours par minute; la course du piston est de 600 mm. Avec une admission au 1/5 et une pression de vapeur égale à 5,5 kg aux chaudières, elles développent une puissance de 50 chevaux avec une consommation garantie de vapeur de 10,5 kg



NORD
ROYAUME
DE BELGIQUE
MER
DU
NORD
LILLE
Lannoy
Cysoing
St AMAND
CONDÉ
Canal de Mons
l'Escaut
Mortagne
Forêt de Raismes
VALENCIENNES
Orchies
Pont à Marcq
SECLIN
MARCHIENNES
Denain
Raimbeaucourt
Raches
Lallaing
Waziers
Ostricourt
Leforest
Roost
Oignies
CARVIN
Canal de la Deûle
Auby
Courcelles
Dourges
BOUCHAIN
Bassin rond
DOUAI
Esquerchin
Hénin-Liétard
Marck
Noyelles
CALAIS
Coulogne
Quiéry
Canlin
Aubigny
Paillencourt
Fressies
Arleux
Hamel
Tortiquesne
Lécluse
CAMBRAI
La Sensée
Biache
Sailly
Plouvain
Rœux
Fampoux
Pelves
Rivière de Scarpe
Athies
Marquion
Marcoing
St Laurent
St Nicolas
RRAS

par cheval indiqué. En temps normal, 3 machines sont en marche, la quatrième servant de réserve. Ces machines sont alimentées par des chaudières semi-tubulaires, dont la surface de chauffe est de 135 m²: elles peuvent produire, à l'heure, 3 250 kg de vapeur, ce qui permettrait à la rigueur d'alimenter 300 chevaux, en poussant les machines à vapeur.

Chaque machine à vapeur commande, par

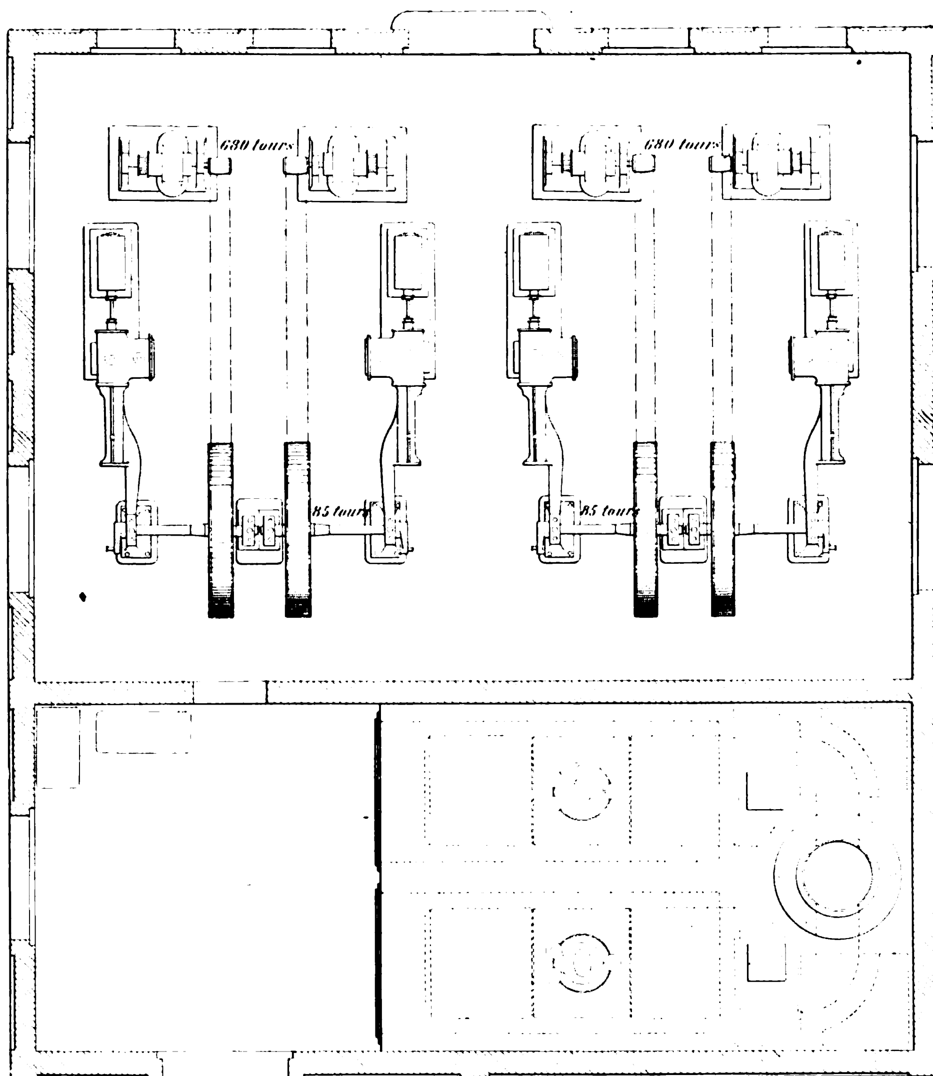


Fig. 3. — Plan d'une station génératrice.

courroie, une génératrice électrique qui est une machine à 4 pôles de 30 000 watts, sous 650 volts, à la vitesse de 680 tours par minute.

Tout le matériel électrique a été fourni par la Société alsacienne de constructions mécaniques.

Les tableaux de distribution, comprenant les appareils ordinaires de manœuvre et de sécurité, sont placés dans les angles de la salle des machines, à droite et à gauche de l'entrée. De ces tableaux partent les câbles d'alimentation du fil de travail de la ligne.

Les stations centrales comprennent comme accessoire un petit atelier de réparation, composé d'un tour, d'une machine à percer, d'un étau limeur et d'une forge.

Deux grues roulantes et pivotantes facilitent les manœuvres de force pour le montage et le démontage des pièces mécaniques.

En même temps que les stations centrales distribuent l'énergie électrique par le fil de ligne, elles assurent l'éclairage, pendant la nuit, des écluses et des passages difficiles, de façon à pouvoir continuer l'exploitation pendant la nuit, quand le trafic sera très chargé; un fanal électrique placé sur le bateau en marche éclairant le canal.

Ligne de travail. — La ligne est constituée à la façon ordinaire, elle présente cependant quelques particularités intéressantes, spécialement pour le fil de retour. Des poteaux en bois, placés environ tous les 40 m, sont plantés dans le sol, à 1,50 m de profondeur, le long du bord extérieur de la chaussée. La ligne comprend un nombre variable de fils, suivant la section où l'on se trouve; la plus chargée comprend 6 fils (82 kg au kilomètre) et la moins chargée 2 fils (27 kg au kilomètre).

La ligne aérienne comprend le fil de travail et le fil de retour. Le fil de travail est constitué par un fil de bronze chromeux de 7 mm

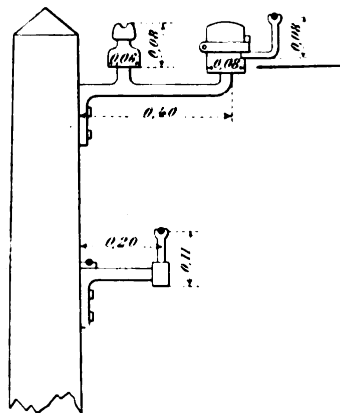


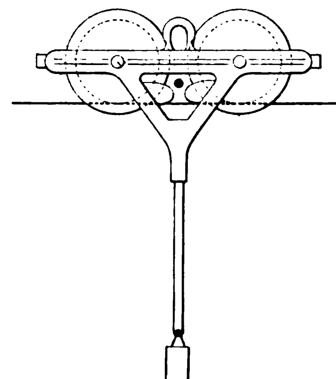
Fig. 4. — Supports de la ligne.

de diamètre, sa conductibilité est de 98 p. 100 de l'étalon B. A; le fil est supporté par un bras en fer, fixé au moyen d'un collier à un isolateur en porcelaine, scellé dans une potence, à la façon ordinaire (fig. 4).

Le fil de retour est supporté par une console métallique : ces deux fils principaux sont placés parallèlement à une distance moyenne de 60 cm.

C'est sur chacun d'eux que roulent les roulettes qui terminent la prise de courant ou trôlet.

Trôlet. — Le trôlet se compose d'un chariot constitué par deux poulies en bronze à


Fig. 5. — Chariot de prise de courant.

gorge profonde (fig. 5). Ces poulies, dont les axes sont parallèles, sont montées sur un bâti

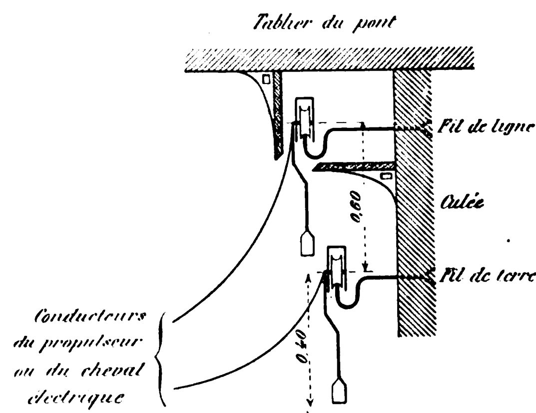


Fig. 6. — Disposition des conducteurs pour les passages sous ponts.

en laiton; sur le milieu d'un des côtés du bâti est fixée une tige de 40 cm de longueur, munie à son extrémité d'un contrepoids réglé pour maintenir l'ensemble en équilibre pendant la marche.

Pour éviter que le courant passe en totalité par les axes des poulies, ce qui serait défectueux par suite des mauvais contacts, un balai collecteur, placé entre les deux poulies, est relié au bâti, et par suite au fil de prise de courant.

Les deux fils, venant du trôlet, sont réunis à 5 m de leur origine, à un petit appareil permettant de les réunir ou de les séparer avec le fil principal, formé d'un seul câble allant au cheval électrique ou au propulseur. A l'arrivée aux bornes du moteur récepteur, ce câble se dédouble et chaque fil est fixé à sa borne respective. Le câble unique venant du trôlet doit être guidé et soutenu pendant la marche en avant. Pour le cas du cheval élec-

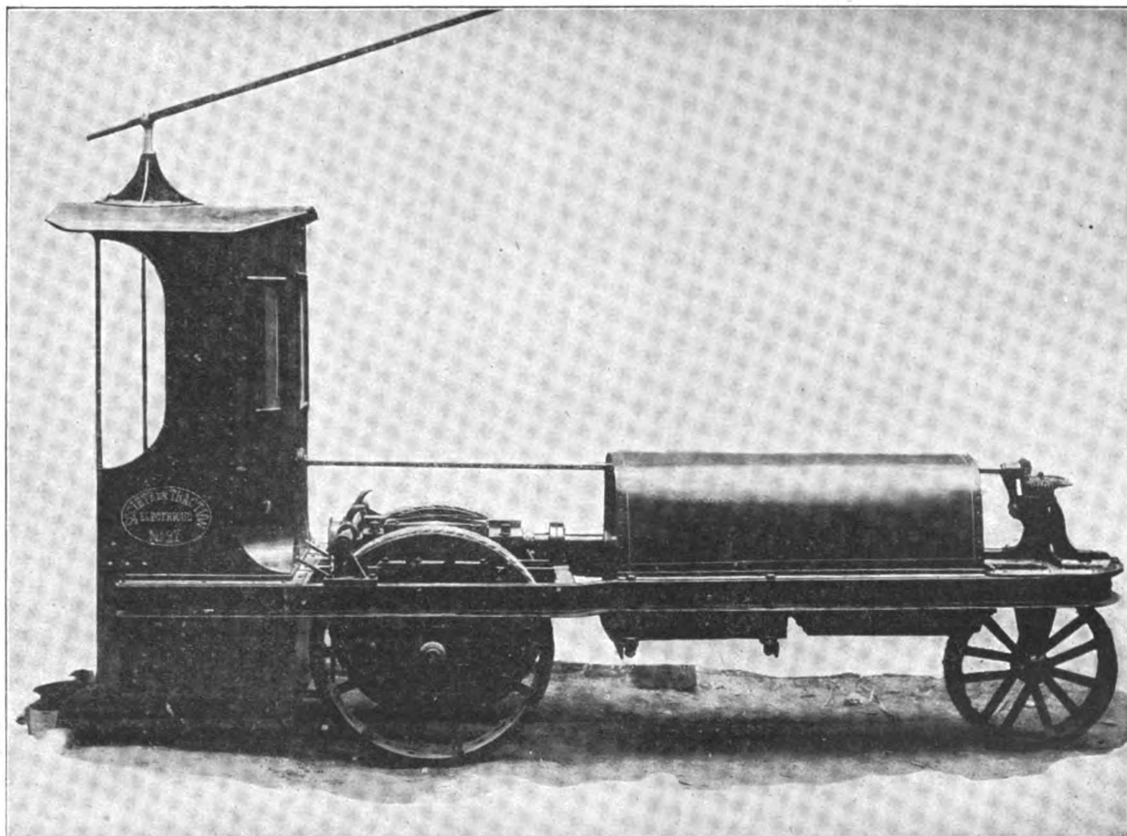


Fig. 7. — Cheval électrique.

trique, c'est une simple potence portant à son extrémité une poulie et faisant avec l'horizontale un angle d'environ 20°. Un ressort à boudin convenablement disposé tend à maintenir verticale cette potence, du côté du canal. La marche des trôlets nécessitant un effort de traction, la potence se dirige vers l'arrière et soutient le câble qui est alors légèrement tendu. Sur une pente, les trôlets devancent le cheval électrique ; la potence, par le ressort à boudin, prend la position perpendiculaire et relève le câble.

Dans le cas du propulseur, le câble est maintenu également par un mât placé à l'arrière du bateau et d'une hauteur moyenne de 3,60 m. A son extrémité, il est muni d'un axe horizontal en fer et perpendiculaire à la direction du bateau, autour duquel peut se mouvoir une potence de 4 à 5 m de longueur. Le câble est soutenu par cette potence, verticale en temps normal, mais qui peut être abaissée par le marinier, pour passer sous les ponts.

La figure 6 représente la disposition de

la ligne et du trôlet adoptée pour le passage sous les ponts et qui évite que l'on puisse toucher aux fils et à la prise de courant.

Quand deux chevaux électriques ou deux bateau mus par le propulseur se rencontrent en sens inverse, ils échangent leurs trôlets, de sorte que la manœuvre est très simple et n'occasionne aucune perte de temps

Cheval électrique. — Cet appareil est un chariot à trois roues, qui rappelle la forme d'un tricycle de grande dimension (fig. 7). Il est constitué ([1]) par un solide châssis en fer à T, à l'avant duquel est placée la roue directrice commandée de la cabine, par le conducteur, au moyen d'un volant dont le mouvement est commandé par un arbre et

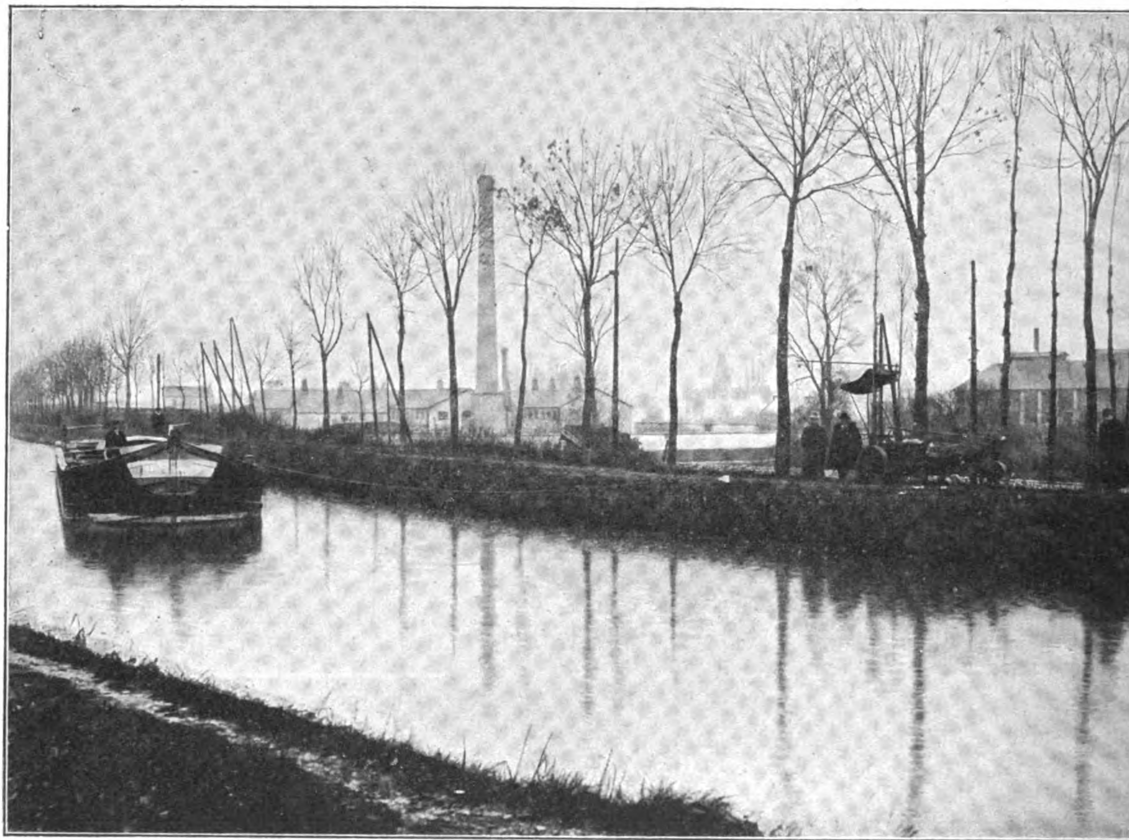


Fig. 8. — Cheval électrique halant un bateau (Appareil d'essai) : Vue d'ensemble.

des roues d'angle. L'essieu moteur est commandé par un moteur électrique dont l'axe est parallèle à celui du chariot. Cette commande est faite au moyen d'une roue dentée, calée sur l'essieu moteur, qui engrène avec une vis sans fin en bronze, placée sur le prolongement de l'arbre de l'induit du moteur électrique.

Les roues de l'essieu moteur sont en fer, leur diamètre est d'un mètre; pour augmenter l'adhérence des roues sur le chemin de halage, celles-ci sont revêtues extérieurement de cordes en fibres d'aloès. Le moteur électrique est du type bipolaire, enroulé en série : sa puissance est normalement de 6 chevaux, mais il peut fournir facilement 8 chevaux. Il est protégé mécaniquement par une caisse en tôle.

A l'arrière du chariot, se trouve la cabine où se place le conducteur : devant lui, il a la roue commandant la direction ; à sa gauche, est disposé un petit tableau comprenant : un

([1]) Voir également plus loin, p. 513.

commutateur principal qui permet d'opérer la marche en avant ou en arrière, d'augmenter ou de ralentir la marche du cheval électrique; un parafoudre qui protège le moteur et enfin deux tiges de prise de courant, sur lesquelles se fixent les douilles formant l'extrémité des fils communiquant aux fils de la ligne, par l'intermédiaire du trôlet.

Un frein mécanique, actionné par le pied du conducteur, augmente la sécurité de marche.

Le poids de l'ensemble du cheval électrique est de 2 000 kg. Dans tous les essais faits, cet appareil s'est toujours très bien comporté, il ne subit spécialement aucune déviation transversale sous l'action de la

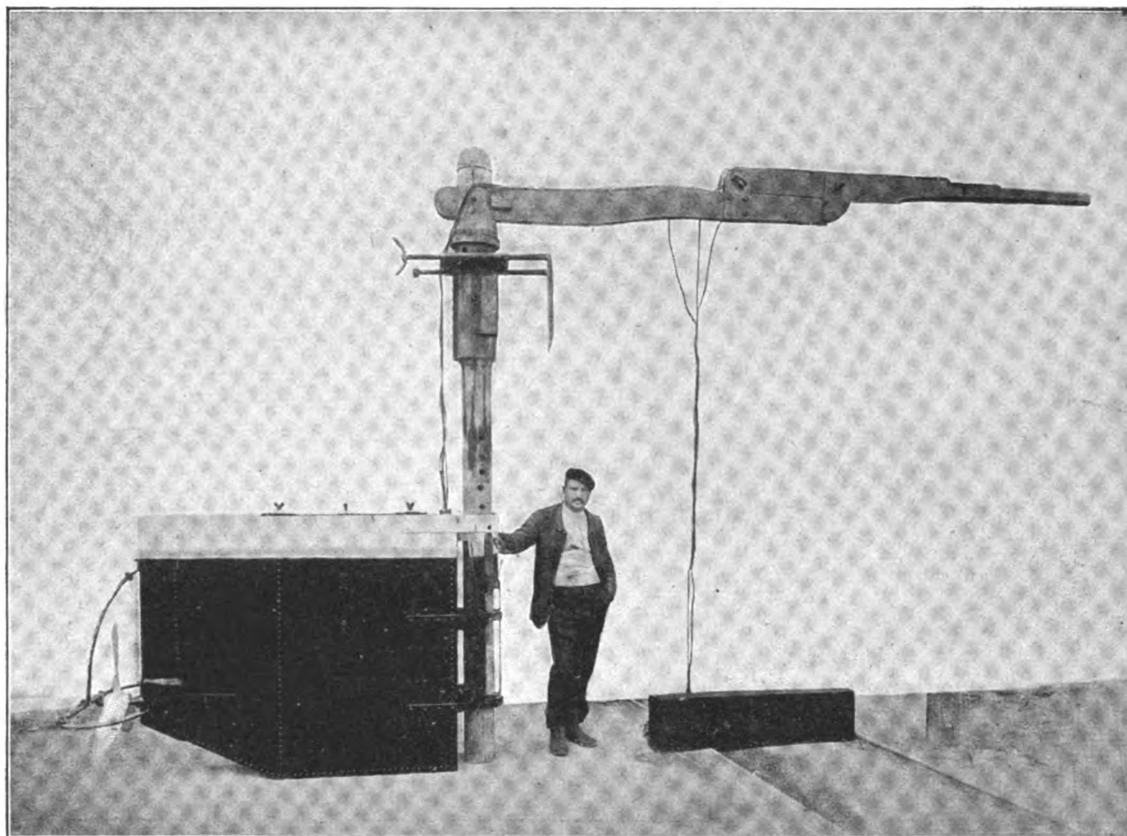


Fig. 9. — Gouvernail-propulseur à hélice.

traction oblique du câble qui le relie au bateau remorqué. Nous reviendrons du reste sur ce point, un peu plus loin, dans la comparaison entre les deux appareils de traction employés.

La figure 8 montre un bateau remorqué par un cheval électrique.

Bachot propulseur. — Le principe de cet appareil est tout différent de celui du cheval électrique. Tandis qu'avec le cheval électrique, il faut relier l'appareil de traction au bateau à remorquer par une corde, avec le bachot, la propulsion se fait directement. Cet appareil a la forme générale d'un gouvernail ordinaire (fig. 9). Il est composé d'une caisse aplatie en tôle de fer, à fermeture étanche, et effilée à la partie avant pour que l'eau arrive facilement sur l'hélice, placée sur un arbre qui traverse l'intérieur du bachot et sur lequel est calé, directement, l'induit du moteur électrique. L'hélice est en bronze et elle tourne à la vitesse angulaire moyenne de 300 tours par minute. Elle est protégée,

contre les chocs éventuels, par une armature que l'on voit sur la figure. De la partie supérieure de la caisse sortent quatre fils, qui servent à établir les couplages nécessaires.

Le poids total du bachot est de 1 600 kg répartis de la manière suivante :

Barre d'attelage.	80 kg
Collier	40 »
Barre du gouvernail . .	60 »
Résistance électrique . .	20 »
Bachot	1400 »
Total.	1600 kg

Le bachot propulseur se place à l'arrière du bateau à remorquer : il sert en même temps



Fig. 10. — Gouvernail-propulseur appliqué à un bateau.

de gouvernail et d'appareil remorqueur. Sa forme a été étudiée de façon qu'il puisse s'adapter à tous les bateaux, circulant sur les canaux. Le courant est amené au moteur du propulseur, au moyen d'un trôlet qui prend le courant sur les fils de travail, disposés le long du canal.

Nous verrons qu'une disposition simple permet à deux bateaux qui se rencontrent en sens inverse de se croiser.

Deux hommes suffisent pour installer cet appareil à l'arrière du bateau à remorquer : un seul homme suffit pour conduire le bateau. La figure 10 montre l'application de cet appareil.

Prix de l'installation. — La Société de Traction sur les voies navigables a bien voulu nous communiquer le prix total d'installation de ses deux usines. Nous ne saurions trop remercier ici les directeurs et ingénieurs de cette Société des documents intéressants mis à notre disposition et qui permettent de juger combien leurs procédés sont économiques :

1° A. — *Station de Beuvry*

Terrain	10000 fr	
Bâtiments, hangars, clôtures, etc	18000 »	
Massifs et fondations, cheminée.	12500 »	
Machines à vapeur } 200	36000 »	
Chaudières } chevaux	18000 »	
Dynamos } élect.	20000 »	
Accessoires et courroies .	7500 »	
Appareils de mesure et tableaux.	750 »	
		122750 fr

2° *Station de Bauvin :*

Même dépense.	122750	122750 »
Prix des deux stations centrales . .		245500 fr

3° *Ligne : 24 kilomètres.*

Fil de cuivre (35,35 t.). .	56560 fr	
800 poteaux posés . . .	13800 »	
Supports et isolateurs .	14662,50 »	
Pose du fil, tension, soudures	12120 »	
		97142,50 fr

4° *Voie :*

Réfection du contre-halage, garages, mises au profil, etc	46482,50 fr	46482,50 fr

5° *Matériel :*

30 chevaux électriques .	165000 »	
5 propulseurs.	30000 »	
100 trôlets	3000 »	
150 câbles de connexion et étuis.	19500 »	
100 câbles de traction. .	1500 »	
200 pièces de rechange .	1800 »	
15 crics.	1500 »	
2 grues	3000 »	
Atelier de réparation, construction, outils. .	15000 »	
Téléphone	6000 »	
Éclairage.	2000 »	
		248300 »
6° Frais de contrôle, de réception, protection des fils, relèvement du télégraphe, mise au point d'ensemble, imprévu, etc.		62575 »
Dépense totale. .		700000 fr

L'examen de ces chiffres permet d'en tirer quelques conclusions intéressantes.

En effet, le prix *total* du kilomètre, complètement équipé, ressort à 26 923 fr soit, en chiffre rond, 27 000. Ce prix peut se décomposer comme suit :

a). Le prix du cheval électrique installé, ressort à $\frac{122\,750}{200} = 614$ fr.

C'est un prix très moyen. Remarquons qu'il aurait pu être diminué encore en employant des groupes unitaires plus importants que ceux adoptés.

b). Pour la ligne et voie, on a une dépense par kilomètre de 5 524 fr; remarquons en passant que les dépenses afférant à la réfection du contre-halage, au garage et aux mises au profil, mentionnées au chapitre IV, grèvent cette évalution. Si elles n'existaient pas, ce qui arrivera dans la plupart des cas, on aurait seulement une dépense de 3 737 fr par kilomètre, pour la ligne.

c). Le cheval électrique, y compris les trôlets ressort, au prix de 5 700 fr.

Le propulseur complet coûte 6 300 fr.

d). L'ensemble du matériel de traction, ressort, par kilomètre, à 8 550 fr. Celui des installations fixes de 18 373. On voit que ces deux prix sont, à peu près, dans le rapport de 1 à 2,1.

Essais pratiques. — Pour donner une idée des avantages que le système de traction électrique sur les canaux peut donner, nous donnons ci-dessous le résumé des essais faits, sur le canal de Bourgogne, à Dijon, par la commission belge, nommée par le ministère belge des travaux publics, pour suivre ces essais :

Avec un bateau, carré à l'arrière (ce qui est le plus désavantageux au point de vue de la marche), et de 36 m de longueur, on a obtenu avec des charges variables, les vitesses suivantes :

Charge en tonnes.	Vitesse à l'heure en mètres.
100	3000 m
150	2700 à 2800 m
180	2500 à 2600 »
250	2300 à 2400 »

**

Avec un bateau, dit berrichon et avec le propulseur on a atteint la vitesse de 4 000 m à l'heure avec une charge de 70 tonnes. Il est certain qu'avec un bateau découpé à l'arrière, ce qui permettrait à l'eau d'arriver plus facilement à l'hélice, on augmentera encore la vitesse, sans une plus grande dépense d'énergie et cela à charge égale.

Ces résultats ont été réalisés avec une dépense de courant variant de 5 à 15 ampères sous une tension de 300 à 350 volts.

En mars 1896, de nouveaux essais furent refaits devant la Commission belge.

Les résultats en sont consignés dans le tableau de la page 491.

Comparaison entre les deux systèmes. — Les deux systèmes de remorquage, mentionnés plus haut, ont été l'objet d'expériences nombreuses. Actuellement, pour ne pas trop changer les habitudes des mariniers, la Société exploitante donne la préférence au *cheval électrique*. Ce résultat semble du reste confirmé par le rapport de la Commission et nous ne saurions mieux faire pour établir cette comparaison, que de citer les conclusions de ce rapport.

« La lecture du tableau suivant, qui résume le résultat des essais, montre que le tricycle de halage donne un rendement plus grand que le propulseur; il permet d'opérer la remorque d'un convoi de bateaux; il convient donc mieux que le propulseur pour la navigation des bateaux en rivières ou sur de très longs biefs.

» Par contre, il a l'inconvénient d'exiger un ouvrier pour le faire fonctionner sur la digue, tandis que le propulseur est manœuvré par le marinier qui est à bord du bateau. Le propulseur n'est pas une cause de détérioration de la plate-forme de la digue; il évite l'emploi de la corde de halage qui est une sujétion quand deux bateaux se croisent et il peut laisser la digue libre pour la traction animale et pour le passage des voitures.

» A cause du bachot, la longueur occupée par le bateau dans l'écluse est augmentée de 0,44 m quand le gouvernail est rabattu pour le sassement; ce rabattement est cause que, pour produire le mouvement initial de mise en marche du bateau hors du sas, le propulseur agit obliquement à l'axe de l'embarcation, jusqu'au moment où celle-ci s'est suffisamment déplacée pour permettre le redressement du gouvernail dans l'écluse.

» Ces sujétions seraient beaucoup diminuées et même annulées, en faisant usage de bateaux dont la poupe serait convenablement découverte et non de bateaux dont l'arrière est presque vertical et carré, comme ceux qui ont servi aux essais.

» En ce qui concerne la consommation d'énergie électrique pour les deux systèmes, nous avons appris que dans les expériences faites à Dijon antérieurement au 31 janvier 1896, les bateaux traînés par le haleur sur berge dépensaient environ 10 à 12 ampères sur 300 volts, soit 3 000 à 3 600 watts; ceux propulsés à l'hélice prenaient 14 à 15 ampères et dans ce cas le voltage fourni par les génératrices était de 250 à 280 volts, suivant que l'eau arrivait plus ou moins bien sur la turbine : c'est un travail de 4 000 watts environ. »

Essai sur l'établissement du prix de revient du bateau-kilomètre. — Comme nous l'avons expliqué précédemment, toute la question de la traction sur les canaux est dans le prix de revient du bateau-kilomètre ou de la tonne kilométrique. Pour plus de commodité et pour établir une comparaison entre le nouveau système et l'ancien, nous prendrons comme unité le bateau de 100 tonnes, et nous appellerons prix du *bateau-kilomètre*, celui obtenu pour transporter ces 100 tonnes sur un kilomètre.

Notons que les chiffres que nous allons donner ne le sont qu'à titre indicatif, car l'expérience et la pratique seules d'une année pourront donner les prix de revient exacts du nouveau mode de traction sur les canaux. Ajoutons cependant que les chiffres que nous allons examiner ne sont pas loin de la vérité,

DATES des expériences.	NOMS DES BATEAUX et indications diverses.	LONGUEUR des bateaux en mètres.	LARGEUR des bateaux en mètres.	TONNAGE des bateaux en tonnes.	VITESSE par heure en m. au propulseur à hélice.	VITESSE par heure en m. au cheval électrique.	OBSERVATIONS diverses.
	A. — Convoi de 3 bateaux au Bief n° 56.						
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						
	Le Suzon 217 tonnes	38,30	5,02	566	»	1990	La marche a été interrompue avant que la vitesse maxima ait été atteinte. Les bateaux commençaient seulement à avoir une bonne direction.
	Il reviendra 217 »	38,20	4,97				
	La Côte-d'or 132 »	38,65	5,00				
	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE						
1896	Vitesse par heure à chaque hectomètre :						
9 mars	*Le Suzon*	38,38	5,02	217	2140		
	1er hectomètre observé	»	»	»	2500	»	
	2e »	»	»	»	2700	»	
	3e »	»	»	»	2310	»	
	4e »	»	»	»	2970	»	
	5e »	»	»	»	2950	»	
	6e »	»	»	»	2820	»	
	7e »	»	»	»	3150	»	
	B. — Convoi de 4 bateaux au bief n° 56.						
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						
	Le Petit Marcel 173 tonnes	38,15	5,05	739	»	1800	Marche interrompue après 200 mètres.
	Le Suzon. 217 »	38,38	5,02				
	La Côte-d'or 132 »	30,65	5,00				
	Il reviendra 217 »	38,20	5,97				
10 mars	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre :						
	Le Petit Marcel	38,15	5,05	173	2400	»	Sur 3 hectomètres la vitesse a été la même dans chacun d'eux.
	1er hectomètre observé	»	»	»	2660		
	2e »	»	»	»	2520		
	3e »	»	»	»	3000		
	4e »	»	»	»	2750		
	C. — Convoi de 3 bateaux au bief n° 56.						
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						
	Le Dijonnais 154 tonnes	30,65	5,06	541	»	2000	Marche interrompue trop tôt.
	Le Petit Marcel 170 »	38,15	5,05				
	Il reviendra 217 »	38,20	4,97				
	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre :						
	Le Petit Marcel	38,15	5,05	170			
	1er hectomètre observé	»	»	»	2400	»	
	2e »	»	»	»	2460	»	
17 mars	3e »	»	»	»	2440	»	
	4e »	»	»	»	2650	»	
	5e »	»	»	»	2980	»	
	6e »	»	»	»	2750	»	
	3° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre :						
	Le Petit Marcel	38,15	5,05	170			
	1er hectomètre observé	»	»	»	2800	»	
	2e »	»	»	»	2830	»	
	3e »	»	»	»	2770	»	
	4e »	»	»	»	3130	»	
	5e »	»	»	»	3240	»	
	6e »	»	»	»	3050	»	On approche de l'écluse.

car ils nous ont été donnés par MM. Denèfle et Cie, tels qu'ils résultaient des expériences faites à ce sujet.

Quoiqu'il en soit, nous avons jugé, quoique cela semble de prime abord prématuré, de donner ces chiffres pour faire ressortir l'importance et les conséquences pratiques qui peuvent résulter de ce nouveau mode de traction.

Nous diviserons ce prix suivant trois chapitres principaux : 1° frais de traction pure; 2° frais de personnel et d'exploitation; 3° amortissement et intérêt du capital engagé.

a. *Frais de traction.*— Dans les conditions ordinaires de marche, pour remorquer un bateau chargé de 300 tonnes, on dépense à la réceptrice 4 000 watts. Si l'on tient compte des rendements partiels qui donnent 0,91 pour les génératrices, 0,87 pour la ligne et 0,85 pour le moteur électrique, on a une dépense à la station de

$$\frac{4\,000}{0{,}91 \times 0{,}87 \times 0{,}85} = 5970 \text{ watts.}$$

soit en chevaux-vapeur 8,1. La consommation de charbon étant de 1 kg par cheval-heure et le prix du charbon égal à 11 francs la tonne, on a comme dépense, par heure, au moteur électrique :

$$8{,}1 \times 0{,}011 = 0{,}089 \text{ fr.}$$

Comme le bateau fait 3 km à l'heure, on a par kilomètre et *par 100 tonnes*, une dépense de

$$\frac{0{,}089}{3 \times 3} = 0{,}01 \text{ fr par kilomètre.}$$

b. *Frais de personnel et d'exploitation.* — Pour faire le trafic annuel évalué à 16 274 bateaux par an, sur les 26 km établis, on a comme dépense de personnel et d'exploitation, y compris l'entretien général, une somme de 90 000 fr. Par bateau-kilomètre on a comme dépense pour ce chapitre

$$\frac{90\,000}{26 \times 16\,274 \times 3} = 0{,}07 \text{ fr.}$$

c. *Amortissement et intérêt du capital.* — Pour établir cette installation, on a dépensé un capital égal à 700 000 fr. En prenant pour l'amortissement et l'intérêt de ce capital 10 p. 100 par an (ce qui revient à amortir le tout en 15 années), on a, par bateau-kilomètre, une dépense de :

$$\frac{70\,000}{26 \times 16\,274 \times 3} = 0{,}06 \text{ fr.}$$

Le prix de revient total du *bateau-kilomètre de* 100 *tonnes*, dans les conditions normales se répartit donc ainsi :

Frais de traction : énergie motrice . . .	0,01 fr.
Frais de personnel et d'exploitation . . .	0,07 »
Amortissement et intérêt du capital . . .	0,06 »
	0,14 fr.

Ce prix, actuellement payé sur le canal de la Deule, est, dans, ces conditions, de 0,50 fr. à 0,60 fr; le prix obtenu avec le nouveau mode de traction laisse donc une large marge pour l'imprevu et le bénéfice.

Conclusion. — Ces quelques chiffres que nous avons donnés font ressortir tout l'intérêt que présente ce système, au point de vue commercial.

La conséquence la plus heureuse de cette nouvelle situation sera de rendre aux canaux l'importance qu'ils avaient avant l'extension des réseaux de chemins de fer et d'y ramener un trafic qui en avait été détourné par suite de l'abaissement des tarifs de chemin de fer. Il ne faudrait pas croire cependant qu'il en résultera une concurrence pour les réseaux de chemin de fer, car l'expérience a été faite en Allemagne, où la création de nouveaux canaux, à Francfort et à Manheim, a déterminé sur les voies ferrées parallèles une augmentation de 36 p. 100 de trafic, tandis que le trafic par eau augmentait également, et cela dans la proportion de 64 p. 100. Il est même résulté de cette situation prospère que les compagnies de chemins de fer contribuent maintenant aux dépenses afférentes aux canaux.

Espérons donc que ce nouveau système de traction se développera en France en donnant à chacun satisfaction : aux commerçants et aux industriels, des tarifs réduits et une rapidité plus grande dans les livraisons ; aux Sociétés exploitantes, des bénéfices importants qui permettront de rémunérer avantageusement les capitaux de ceux qui ont été assez hardis pour créer de toute pièce ce système, qui contribuera certainement à la prospérité industrielle et commerciale de notre pays.

Paul Dupuy.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

M. F. Parshall (1) propose une solution à l'un des problèmes laissés jusqu'ici un peu de côté dans la question du couplage des alternateurs, celui de la suppression automatique des décalages permanents par le réglage de l'admission de leurs moteurs au moyen du courant lui-même. On sait que la répartition des charges de deux alternateurs dépend du décalage de phase entre ces deux machines et qu'elles ne sont égales, ou proportionnellement réparties à la puissance normale des machines, que lorsque le décalage est nul ; le problème de la suppression du décalage de phase entre les deux alternateurs est donc le même que celui-ci de l'égalisation des charges.

Un premier appareil dans le but de supprimer le décalage a été imaginé par M. Blondel (2), c'est l'égaliseur de charge dont l'action repose sur l'inégalité des intensités des courants dans les deux alternateurs lorsque ceux-ci n'ont pas des charges identiques. L'appareil de M. Parshall utilise la différence de phase entre les deux courants.

Il consiste à commander en même temps et en sens contraire, à l'aide d'un moteur à champ tournant spécial et d'une vis tangente F (fig. 1), soit les deux régulateurs des moteurs à vapeur, soit une vanne K d'étranglement de la vapeur.

L'inducteur du moteur à champ tournant comprend deux enroulements : l'un E, pris en dérivation sur les barres principales de distribution, soit directement, ou par l'intermédiaire d'un transformateur D, comme le montre la figure 1 ; l'autre E_1, placé en série, soit directement, soit encore par l'intermédiaire d'un transformateur C, sur l'un des conducteurs de l'alternateur, ou même sur la barre omnibus *b*. Les inductances et les résistances des deux circuits sont calculées de telle façon que pour l'égalité des phases des courants débités par les deux alternateurs il n'existe non plus aucune différence de phase entre les courants qui traversent les enroulements E et E_1.

La figure 2 représente un dispositif un peu différent : l'un des circuits du moteur asynchrone est toujours alimenté par le transformateur D monté en dérivation sur les barres de distribution ; mais le second enroulement est pris aux barres secondaires d'un transformateur *c* ayant deux primaires traversés chacun par le courant d'un des deux alternateurs, mais l'un en sens contraire de façon à ce qu'il ne se produise aucune tension dans le secondaire, lorsque les courants des deux alternateurs sont en coïncidence de phase.

Le fonctionnement de cet appareil est facile à comprendre : tant que les décalages sont les mêmes dans les deux alternateurs A et A' les courants traversant les enroulements inducteurs du moteur sont de même phase (fig. 1), ou l'un est nul (fig. 2) et le moteur immobile ; si au contraire les courants des deux machines ne sont pas de même phase, le

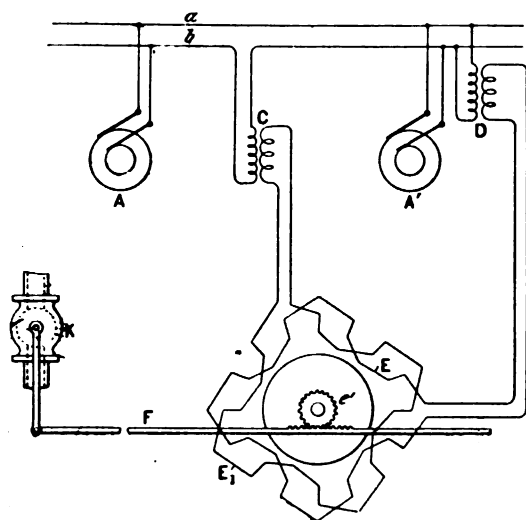
(1) Brevet anglais n° 1249 ; 2 figures. Déposé le 17 janvier 1896 ; accordé le 16 janvier 1897.

(2) Couplage et synchronisation des alternateurs, *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 366, 1892.

moteur est entraîné dans un sens ou dans l'autre, suivant le sens du décalage et ferme la vanne d'un des moteurs à vapeur en même temps qu'il ouvre celle de l'autre.

En pratique, les mouvements du moteur seront petits; l'inventeur compte sur les effets d'hystérésis et de self-induction dans les deux circuits pour constituer un amortissement suffisant.

Lorsque le nombre de machines en parallèle est supérieur à deux, un appareil égaliseur est nécessaire pour chaque machine, mais son action pour moins de complication, sera limitée à un seul moteur à vapeur. On



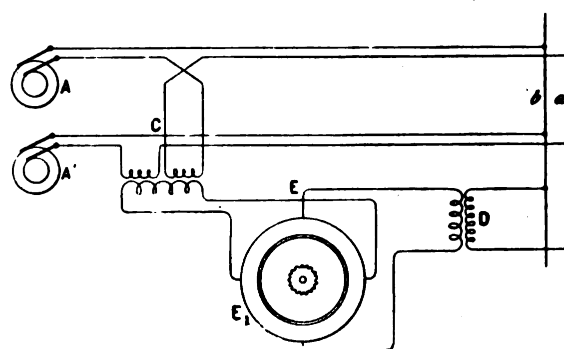


Fig. 1 et 2. — Égaliseurs de charge Parshall.

pourra, dans ce cas, employer un seul transformateur D ayant autant de circuits secondaires que de machines.

MM. Siemens Brothers (1), de Londres, font breveter un certain nombre de procédés simples pour reconnaître, avant le couplage de deux alternateurs, quel est celui des deux qui tourne le plus vite et par suite dans quel sens il faut modifier sa vitesse pour arriver à une coïncidence durable des phases des deux machines.

Le procédé consiste à employer une série de lampes, trois au moins, qui s'allument successivement dans un certain ordre lorsque l'un des alternateurs est animé d'une vitesse un peu supérieure à l'autre et dans un ordre contraire lorsque le premier alternateur tourne moins vite que le second.

Lorsqu'il s'agit de génératrices à courants triphasés la solution est des plus simples. Considérons, en effet (fig. 3), les deux génératrices à coupler en parallèle. Si on établit une lampe à incandescence sur chacun des circuits réunissant les bornes correspondantes A_1 et A_2, B_1 et B_2, C_1 et C_2, les trois lampes dans le voisinage de l'égalité de fré-

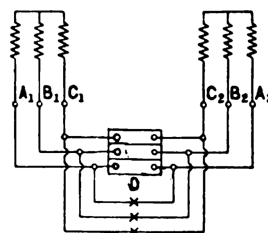


Fig. 3. — Connexions de lampes de synchronisation pour alternateurs triphasés (extinctions simultanées).

quence s'allumeront et s'éteindront en même temps; mais si nous inversons les connexions avec deux des trois fils, c'est-à-dire si nous réunissons B_1 avec C_2 et C_1 avec B_2 (fig. 4), au moment de la coïncidence de phase, la lampe A_1 A_2 sera seule éteinte et les autres ne s'éteindront l'une qu'après un tiers de période de glissement, l'autre qu'après deux tiers de période. On conçoit de plus que l'ordre des

(1) Brevet anglais n° 2772; 13 figures. Déposé le 6 février 1896; accordé le 6 février 1897.

extinctions dépend uniquement du sens du glissement et peut, par suite, une fois un premier repérage établi, permettre de reconnaître immédiatement s'il est nécessaire pour arriver à la coïncidence parfaite d'augmenter ou de diminuer la vitesse de l'une des machines.

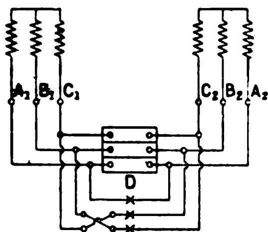


Fig. 4. — Connexions de lampes de synchronisation avec extinctions successives donnant le sens du glissement d'un alternateur par rapport à l'autre.

La lampe A_1 A_2 est celle qui doit servir d'indicateur de phase.

Dans le cas d'un nombre quelconque d'alternateurs, un seul groupe de lampes peut, comme dans le cas d'une seule lampe, servir pour toutes les machines.

L'emploi de trois lampes avec le triphasé peut être généralisé pour des courants polyphasés d'ordre quelconque. On peut aussi prendre un nombre quelconque de lampes différent de celui des courants. Mais dans ce cas, les extinctions successives ne sont pas toujours également espacées ; la figure 5

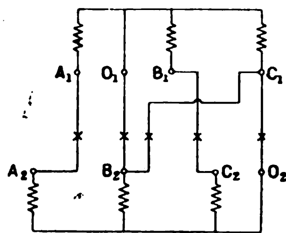


Fig. 5. — Connexions pour emploi de 5 lampes de synchronisation avec deux générateurs triphasés.

donne une des meilleures combinaisons pour l'emploi de cinq bobines avec deux génératrices triphasées montées en étoile.

Pour le diphasé, la méthode générale ne s'applique évidemment plus ; le même dispositif que pour le triphasé convient très bien lorsque chacun des circuits peut être partagé en deux d'égale tension A_1 et C_1, B_1 et D_1 et disposé en série ; il suffit, comme le montre la figure 6, de ne considérer que trois des circuits ainsi formés, la lampe B_1 B_2 sert de synchronisation.

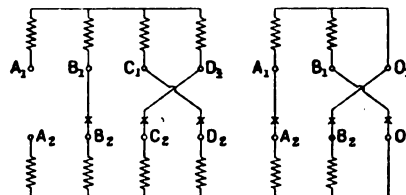


Fig. 6 et 7. — Connexions pour générateurs diphasés.

La figure 7 donne le schéma des connexions pour deux alternateurs diphasés avec, emploi de trois lampes montées en étoile, les décalages entre les extinctions sont de 90°, 45° et 225°.

Avec le monophasé, comme il n'est pas toujours possible de partager le circuit induit en plusieurs parties dont les forces électromotrices induites ont des phases différentes, MM. Siemens Brothers emploient un petit transformateur auxiliaire dont la puissance est montée en série avec une bobine de self-induction et disposé entre les deux conducteurs principaux, comme le montre la figure 8 ; l'une des deux bornes secondaires F est connectée avec le conducteur principal B,

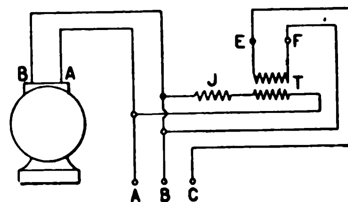


Fig. 8. — Obtention de trois différences de potentiel décalées entre elles à l'aide d'une génératrice à courant monophasé.

l'autre est libre. On obtient ainsi trois différences de potentiel AB, BC et AC dont les phases relatives ont été représentées sur la figure 9 et qui peuvent servir comme dans le cas du courant triphasé.

Le rôle de la bobine de self-induction J est

de ramener les différence de potentiel AB et BC qui, naturellement, seraient opposées à être décalées d'environ 90°; cette bobine pourrait facilement être logée dans le transformateur lui-même, ou encore être remplacée par un condensateur.

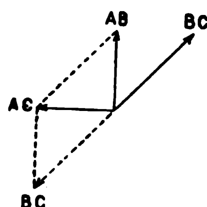


Fig. 9. — Valeur des décalages dans le dispositif de la figure 8.

Lorsque le voltage des machines est élevé, on peut avoir recours à des transformateurs réducteurs à la façon ordinaire.

MM. Siemens Brothers indiquent finalement un procédé consistant à employer un électromoteur à la place des lampes; c'est ce que montre la figure 10. Le sens de rotation

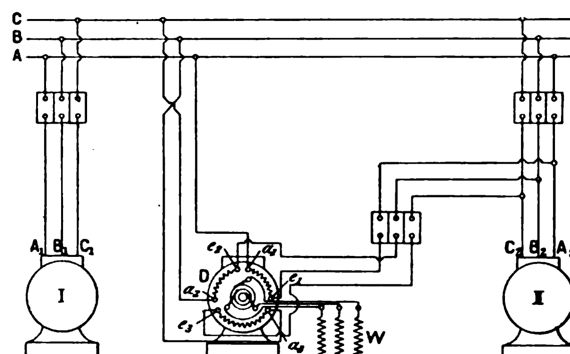


Fig. 10. — Schéma des connexions pour l'emploi d'un électromoteur comme indicateur de phase pour le couplage de deux génératrices triphasées.

du moteur indique celui du glissement et le moteur est immobile ou plus exactement oscille faiblement autour de sa jonction d'équilibre lorsque le synchronisme est obtenu;

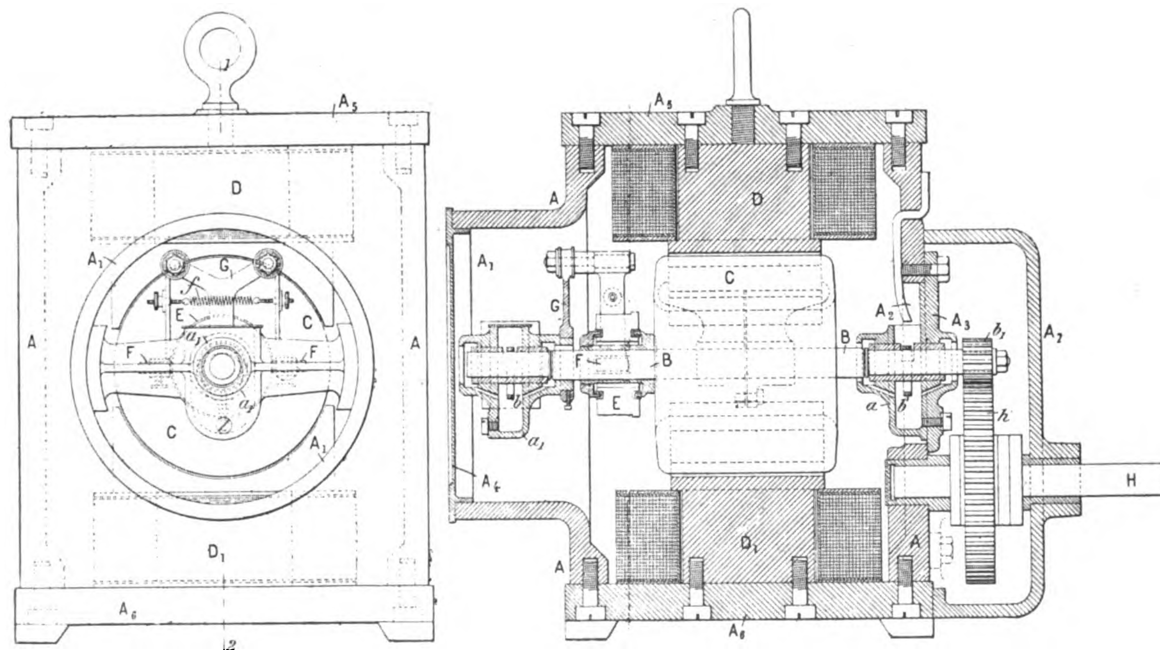


Fig. 11 et 12. — Vue de bout et coupe par l'axe d'un moteur Greenwood.

les courants absorbés par le moteur doivent être très faibles, comme ceux des lampes, et insuffisants pour donner des couples synchronisants.

Le moteur d'Arthur Greenwood (1) pré-

(1) Brevet anglais n° 6306; 2 figures. Déposé le 21 mars 1896; accordé le 30 janvier 1897.

sente l'avantage d'être complètement enfermé dans une caisse formant bâti tout en étant facilement démontable. Les figures 11 et 12 donnent une vue extérieure et une coupe par l'axe d'un pareil moteur.

Les deux faces A portent les paliers a et a_1 de l'induit C et sont munies chacune d'une ouverture. La première A_1 est formée d'une sorte de fourreau d'un diamètre suffisant pour laisser passer l'armature; en temps normal, un couvercle A_4 portant le palier a_1 permet de boucher cette ouverture; sur la seconde est adapté un couvercle portant le palier a.

Le démontage des inducteurs est obtenu aussi facilement en enlevant les faces A_5 et A_6 de la caisse, lesquelles sont fixées aux faces latérales au moyen de vis spéciales; les noyaux polaires D et D_1 sont simplement retenus avec des vis analogues.

Pour pouvoir employer une vitesse assez grande sur le moteur sans dépasser une vitesse ordinaire sur l'arbre moteur H l'extrémité de l'arbre B de la dynamo est munie d'un pignon b_1 engrenant avec une roue dentée h; l'engrenage est contenu dans une caisse spéciale A_7.

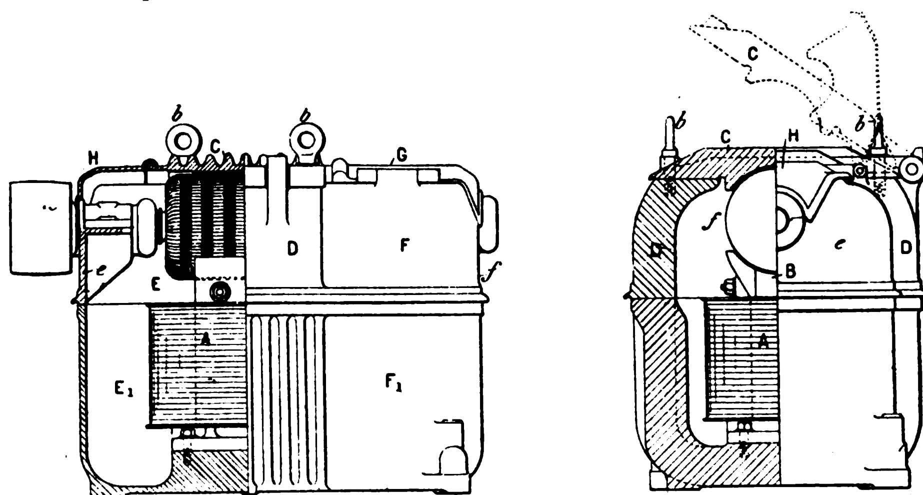


Fig. 13 et 14. — Diverses vues et coupes d'un moteur ou d'une dynamo Rees.

Les balais en charbon sont employés de préférence dans ces moteurs de surveillance peu commode.

Les perfectionnements apportés aux moteurs et dynamos par M. F.-S.-G. Rees [1] sont analogues aux précédents, mais se rattachent aux dynamos bipolaires avec une seule bobine inductrice noyée complètement dans la carcasse de l'inducteur. Le noyau polaire inférieur A (fig. 13 et 14) est placé dans une caisse en fonte EF, E_1 F_1, e f, formant bâti; sur celle-ci sont fixées parallèlement à l'induit les pièces D qui supportent la pièce polaire supérieure C mobile autour d'une charnière et assujettie aux pièces D par les boulons b qui servent en même temps d'anneaux pour le déplacement de l'appareil. De chaque côté de la pièce polaire C se trouve un couvercle, G du côté du collecteur, H de l'autre côté, et pouvant également tourner autour d'une charnière parallèle à l'axe de l'induit. Il suffit de relever les couvercles G et H et la pièce polaire C pour pouvoir visiter l'induit et le démonter; la visite et le remplacement de la bobine de l'inducteur nécessitent, avec cette disposition, le déplacement de l'induit, ce qui entraîne une légère perte de temps dans la plupart des machines de ce genre.

Le nouveau système de moteur synchrone à courant monophasé que décrit M. A.-S.

[1] Brevet anglais n° 2610; 3 figures. Déposé le 5 février 1896; accordé le 30 janvier 1897.

***

Frazer[1] doit dans la pensée de l'auteur être particulièrement employée pour les appareils redresseurs de courant où un synchronisme parfait est nécessaire pour éviter les étincelles aux balais.

Tout moteur synchrone comprend deux champs tournants se déplaçant dans l'espace avec la même vitesse; voyons comment M. Frazer obtient ces deux champs.

La partie mobile se compose d'un anneau muni de projections polaires P (fig. 15) entre lesquelles sont enroulées deux séries de bobines; chaque série occupe une moitié de l'anneau et les deux circuits ainsi formés sont branchés en quantité. Les points de jonction sont connectés à un collecteur spécial formé de deux anneaux A à 4 dents *t* (fig. 16) isolés l'un de l'autre, placés l'un dans l'autre, et sur lesquels frottent les deux balais S. Si nous supposons que cet anneau tourne à la vitesse du synchronisme le courant traversant la partie mobile, par suite du jeu du commutateur se déplaçant d'une dent par demi-période, sera toujours de même sens et donnera par suite une polarité constante sur l'anneau intérieur; le champ constant ainsi obtenu fera un tour complet pour quatre périodes du courant d'alimentation.

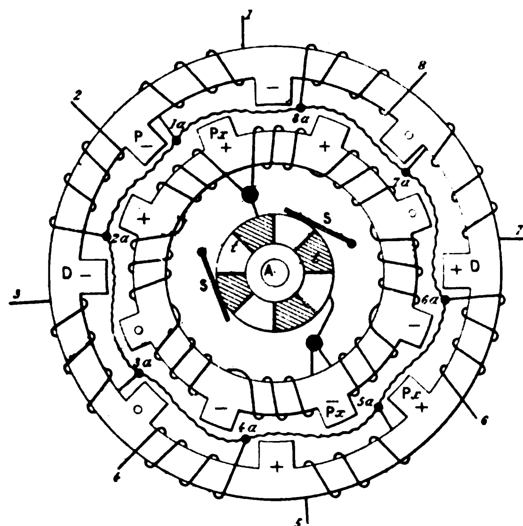


Fig. 15. — Schéma des enroulements du moteur synchrone Frazer.

(1) Brevet anglais n° 5479, 6 figures, déposé le 11 mars 1896, délivré le 11 mars 1897.

Le second champ s'obtient par le jeu d'un second commutateur fixé à un des paliers et sur lequel frottent des balais tournants H et H′ encastrés dans le bras R (fig. 18), calé sur l'arbre même de l'appareil.

Ce commutateur se compose de deux anneaux L et M en cuivre (fig. 17), l'un intérieur à l'autre et communiquant chacun avec un conducteur de la distribution. Entre ces deux anneaux se trouvent deux séries de secteurs en cuivre, isolés les uns des autres, et isolés des anneaux L et M. Le balai H se déplace sur l'anneau extérieur L et sur la série de segments placée à côté de lui tandis que le balai H′ se meut sur la seconde série et sur l'anneau intérieur M.

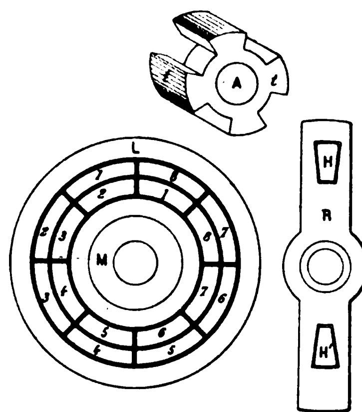


Fig. 16, 17 et 18. — Détails des commutateurs.

La partie mobile comporte un anneau D ayant autant de projections polaires que la partie fixe et entre lesquelles sont enroulées des bobines alternativement dans un sens ou dans l'autre. Les extrémités (1′) (2′)... (8′) de ces bobines sont toutes réunies entre elles tandis que les extrémités (1) (2) (3)... (8) sont connectées avec les deux séries de segments du commutateur M dans l'ordre indiqué par les numéros des figures 15 et 17. Les balais H et H′ tournant synchroniquement on voit que le courant que traverse les sections 1 et 2 d'une part et 5 et 6 d'autre part donnera la même polarité à la demi-période suivante,

lorsqu'il traversera les sections 2 et 3 et 6 et 7 puisque son sens a changé en même temps que celui de l'enroulement. Le champ constant ainsi obtenu se déplacera donc dans le même sens que l'armature et avec la même vitesse que celle-ci.

On voit facilement que l'appareil démarrera de lui-même comme un moteur série à courant continu qu'on alimente avec un courant alternatif puisque le courant changera de sens en même temps dans l'inducteur et dans l'armature.

L'emploi de deux collecteurs dont un avec balais tournants fera toujours du moteur de M. Frazer un appareil très délicat et probablement très éclairant par suite de la présence des étincelles d'un aspect tout particulier sur les collecteurs fixes. F. GUILBERT.

LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE SUR LA SURFACE D'UN ANNEAU (1)

RÉSUMÉ

Nous avons considéré le problème posé et résolu par M. Ch. Neumann de la distribution électrique sur la surface d'un anneau.

Après avoir défini les coordonnées péripolaires, nous avons déduit les expressions des intégrales de l'équation de Laplace et avons donné enfin la solution du problème.

I. *Coordonnées péripolaires.* — On sait par la théorie des images électriques de S.-W. Thomson, que l'équation

$$\lambda = \frac{MA}{MB} = \text{const},$$

A et B étant des points fixes et M un point variable, exprime une circonférence, qui coupe orthogonalement l'arc de la circonférence menée par les trois points A, M, B. L'équation de cet arc est $\omega = \text{const}$ (si l'angle A M B est désigné par ω ou par $2\pi - \omega$, comme M. Neumann le fait) pour la moitié du plan au-dessous de A B. Pour $\lambda = 0$ nous avons le point A, pour $\lambda = 1$ la droite menée par le milieu O de A B et perpendiculaire à A B (et la branche infiniment éloignée). En prenant la droite AB pour l'axe de rotation et faisant tourner le plan autour de cet axe, le point A décrira la circonférence que M. Neumann a nommée polaire la circonférence $\lambda = \text{const.}$ décrira la surface d'un anneau. L'angle de rotation étant désigné par φ, nous avons trois coordonnées λ, ω, φ, qui déterminent tout point de l'espace. M. Neumann les nomme coordonnées péripolaires.

Entre les coordonnées λ et ω et les coordonnées cylindriques ρ et z, on a les relations

$$z = \frac{2\lambda . \sin \omega a}{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}, \qquad \rho = \frac{(1-\lambda^2)\, a}{1 - 2\lambda \cos \omega + \lambda^2}, \tag{1}$$

où

$$a = \frac{AB}{2}.$$

Outre cela, on peut déduire la dérivée de λ par rapport à la normale extérieure

$$d\frac{\lambda}{dN} = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial z}\right)^2} = \frac{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}{2a}$$
$$= \frac{R^2}{2a}, \tag{2}$$

où

$$R = \sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}, \tag{3}$$

L'équation de Laplace prend la forme

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial\lambda^2} + \lambda \frac{\partial (W\sqrt{\rho})}{\partial\lambda} + \frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial\omega^2}$$
$$+ \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda)^2}\left(\frac{W\sqrt{\rho}}{4} + \frac{\partial^2 (W\sqrt{\rho})}{\partial\varphi^2}\right) = 0. \tag{4}$$

et par suite l'intégrale partielle de cette équation peut être mise sous la forme

$$R_0 F_{n,m} \cos n\omega . \cos m\varphi,$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 31 juillet, 28 août et 4 septembre, p. 255, 402 et 458.

où F satisfait l'équation

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 (F\sqrt{1-\lambda^2})}{\partial\lambda^2} + \lambda \frac{\partial (F\sqrt{1-\lambda^2})}{\partial\lambda} - n^2 F\sqrt{1-\lambda^2}$$
$$+ \frac{4\lambda^2}{(1-\lambda^2)^2}\left(\frac{1}{4} - m^2\right) F\sqrt{1-\lambda^2} = 0. \quad (5)$$

Si la fonction $F_{n,m}$ est finie pour $\lambda = 0$, M. Neumann la désigne par $I_n^m(\lambda)$; si F est finie pour $\lambda = 1$, il la désigne par $A_n^m(\lambda)$.

M. Neumann a trouvé

$$I^{nm}(\lambda) = \frac{(1-\lambda^2)^m}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \omega n d\omega}{(1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2)^{\frac{2m+1}{2}}}, \quad (6)$$

$$A_n{}^m(\lambda) = \frac{\lambda^n}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos m\delta d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}}. \quad (7)$$

Nous déduisons ces expressions par des considérations spéciales.

II. *La méthode servant à déduire les expressions des intégrales.* — 1. Si l'anneau représente un conducteur électrisé, son potentiel est constant; mais comme intégrale de l'équation $\Delta W = 0$, il peut être mis sous la forme

$$R \sum \alpha_n I_n{}^0(\lambda) \cos n\omega, \quad (8)$$

où

$$\alpha = \text{const}.$$

D'où l'on déduit

$$\frac{\text{const}}{\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}} \sum \alpha_n I_n{}^0(\lambda)\cos n\omega, \quad (9)$$

$$I_n{}^0(\lambda) = \text{const}\int_0^{2\pi} \frac{d\omega}{R} \cos n\omega, \quad (10)$$

$I_n^0(\lambda)$ est donc proportionnel au coefficient de la série de Fourier et nous obtenons pour I_n^0 la même expression que M. Neumann.

2. Toute fonction

$$f(x+iy),$$

et en particulier

$$x + iy)^n.$$

satisfait l'équation

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0,$$

ou

$$\Delta f = 0.$$

Par suite

$$\rho^m \cos m\varphi,$$

où

$$\rho^2 = x^2 + y^2, \qquad \text{tang}\,\varphi = \frac{\varphi}{x},$$

est intégrale de l'équation $\Delta W = 0$, finie pour $\lambda = 0$ et par suite

$$\rho^m \cos m\varphi = R\Sigma\beta^n I_n{}^m(\lambda)\cos n\omega \cos m\varphi. \quad (11)$$

D'où l'on conclut (en substituant l'expression de ρ)

$$I_n{}^m(\lambda) = \text{const}\int_0^{2\pi} \frac{\rho^m \cos n\omega}{R} d\omega$$
$$= \text{const}(1-\lambda^2)^m \int_0^{2\pi} \frac{\cos n\omega d\omega}{(1 - 2\lambda\cos\omega + 8^2)^{\frac{2m+1}{2}}}. \quad (12)$$

3. X étant un point de la circonférence polaire et M point quelconque de l'espace, on obtient aisément

$$r = MX = 2a \frac{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}}}{\sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}}, \quad (13)$$

où δ désigne la différence des azimuts des points M et X.

L'intégrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{MX}, \quad (14)$$

est proportionnelle au potentiel des masses linéaires distribuées sur la circonférence polaire à densité constante. Par conséquent, cette intégrale satisfait à l'équation de Laplace et reste finie pour $\lambda = 1$; elle est égale à

$$\frac{R}{2a}\int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{\sqrt{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin\frac{\delta}{2}}}; \quad (15)$$

on obtient ainsi l'expression de $A_0^0(\lambda)$

$$A_0^0(\lambda) = \text{const} \int_0^{2\pi} \frac{d\delta}{\sqrt{\lambda^2 \cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}}}. \qquad (16)$$

Si la densité n'est pas constante mais proportionnelle à $\cos m\theta$, où $\theta = \varphi + \theta$ et φ étant azimuts de X et M, on obtient l'expression de $A_0^m(\lambda)$, en séparant les termes contenant $\cos m\varphi$ et $\sin m\varphi$.

4. Si nous prenons

$$\frac{\partial^n \frac{1}{MX}}{\partial \zeta^n},$$

nous obtenons l'expression de $A_n^0(\lambda)$. En effet.

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial \zeta^n} = \sum K_\beta \frac{\zeta^\beta}{r^\alpha}, \qquad (17)$$

où

$$K_\beta = \text{const}, \qquad \beta < \alpha.$$

La différentiation par ζ tient à la multiplication des membres particuliers soit par $\frac{\beta}{\zeta}$, soit par $-\frac{\alpha\zeta}{r^2}$. Considérant en détail la formation de l'expression

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial \zeta^n},$$

on obtient

$$\frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial \zeta^n} = \sqrt{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}\ \Sigma f(\lambda, \delta) \cos^p\omega \sin^q\omega. \qquad (18)$$

où $f(\lambda, \delta)$ ne dépend pas de ω.

Le terme, ayant la dimension $p + q$ la plus grande est

$$\frac{K_n \zeta^n}{r^{2n+1}},$$

parce que la multiplication par $\frac{\zeta}{r^2}$ ou par

$$\frac{1}{2a} \frac{\lambda \sin\omega}{\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}},$$

augmente la dimension $p + q$ et la multiplication par $\frac{1}{\zeta}$ ou par

$$\left(\frac{1 - 2\cos\omega + \lambda^2}{2\lambda \sin\omega\, a}\right),$$

ne le fait pas.

En prenant

$$\int_0^{2\pi} \frac{\partial^n \frac{1}{\zeta}}{\partial \zeta^n} d\delta,$$

nous aurons le terme de la plus grande dimension p

$$\text{const. } R_0 \lambda^n \int_0^{2\pi} \frac{\sin^n \omega d\delta}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}},$$

car

$$\frac{\zeta^n}{r^{2n+1}} = \frac{R}{r^{2n+1}} \frac{(2\lambda)^n \sin^n\omega}{\left(\lambda^2\cos^2\frac{\delta}{2} + \sin^2\frac{\delta}{2}\right)^{\frac{2n+1}{2}}} \frac{1}{a^{n+1}}. \qquad (19$$

Ce terme contient linéairement le terme de la plus grande multiplication $\cos n\omega$ ou $\sin n\omega$ et l'on en déduit que le coefficient de $\sin n\omega$ est proportionnel à $RA_n^0(\lambda)$.

En prenant

$$\int_0^{2\pi} \frac{\partial^n \frac{1}{r}}{\partial \zeta^n} \cos m\theta d\delta,$$

nous obtenons de la même manière l'expression de $A_n^m(\lambda)$.

Tous les multiplicateurs constants devant les intégrales dans les expressions de $I_m^n(\lambda($ et $A_n^m(\lambda)$, M. Neumann les pose égaux à $\frac{1}{2\pi}$.

III. *La distribution électrique sur la surface d'un anneau.* — Soit le potentiel de l'anneau $V_0 = \text{const}$.

L'expression de $I_n^0(\lambda)$ donne l'équation

$$\text{const} = R\,[I_0^0(\lambda) + 2\Sigma I_n^0(\lambda)\cos n\omega]\, V_0, \qquad (20)$$

Telle est l'expression du potentiel à l'intérieur d'un anneau conducteur.

Pour l'espace extérieur

$$V = V_0 R \, \Sigma \, k^n A_n^0 (\lambda) \cos n\omega. \quad (21)$$

Soit $\lambda = c$ l'équation de l'anneau donné. Pour

$$\lambda = c, \qquad V = \text{const},$$

et par suite

$$k_0 = \frac{I_0^0(c)}{A_0^0(c)}, \qquad k_n = \frac{2 I_n^0(c)}{A_n^0(c)} \; (n > 0). \quad (22)$$

Formons $\frac{\partial V}{\partial n}$ et $\frac{\partial V}{\partial n'}$, ($n$ et n' désignant les directions des normales à la surface intérieure et extérieure).

Comme

$$\frac{d\lambda}{dn'} = \frac{R^2}{2a},$$

nous avons

$$0 = -\frac{R^2}{2a} V_0 \left[\frac{\partial R}{\partial \lambda}\left(I_0^0 + 2 \; \Sigma \; I_n^0 \cos n\omega\right)\right.$$

$$\left. + R\left(I_0^{0'} + 2 \; \Sigma \; I_n^{0'} \cos n\omega\right)\right]_{\lambda = c} \quad (23_1)$$

$$-4\pi e = \frac{R^2}{2a} V_0 \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \; \Sigma \; k_n A_n^0 \cos n\omega\right.$$

$$\left. + R \, \Sigma \, k_n A_n^{0'} \cos n\omega\right). \quad (23_2)$$

L'addition des équations (23_1) et (23_2) nous donne

$$-4\pi e = \frac{R^3}{2a} V_0 \left(\frac{I_0^0 A_0^{0'} - A_0^0 I_0^{0'}}{A_0^0}\right.$$

$$\left. + 2 \sum \frac{I_n^0 A_n^{0'} - A_n^0 I_n^{0'}}{A_n^0} \cos n\omega\right). \quad (24)$$

I^0_n et A^0_n, étant les intégrales de la même équation (5) différentielle du second ordre, on déduit aisément

$$A^{0'}_n I^0_n - A_n^0 I_n^{0'} = \frac{C}{\lambda(1-\lambda^2)}. \quad (25)$$

Des considérations spéciales permettent de démontrer que les expressions de M. Neumann étant choisies pour A^0_n et I^0_n, on obtient C indépendant de n. Par conséquent on peut prendre le facteur $\frac{C}{c^1 - c^2}$ hors du signe Σ et alors en posant

$$g = -\frac{CV_0}{8\pi ac(1-c^2)} \quad (26)$$

on obtient

$$e = gR^3\left(\frac{I_0^0}{A_0^0(c)} + 2\sum \frac{\cos n\omega}{A_n^0(c)}\right). \quad (27)$$

IV. La capacité électrique de l'anneau.

Soit r_0 la distance du point O central de l'anneau (le centre de la circonférence polaire) à un point M; on obtient aisément

$$r_0 = a\sqrt{\frac{1 + 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}{1 - 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}}. \quad (28)$$

La quantité totale d'électricité existant sur l'anneau peut être déterminée par l'équation

$$E = [r_0 V]_{r_0 = \infty} \quad (29)$$

où V est le potentiel au point M.

Or on a

$$V = RV_0 \, \Sigma \, k_n A_n^0 \cos n\omega$$

et comme pour le point infiniment éloigné on doit poser

$$\lambda = 1, \quad \omega = 0$$

et par suite

$$A_n^0(1) = 1,$$

on obtient

$$E = \left[a\frac{\sqrt{1 + 2\lambda\cos\omega + \lambda^2}}{R}\right.$$

$$\left. RV_0 \, \Sigma \, k_n \; A_n^0 \cos n\varpi\right]_{\omega = 0, \lambda = 1} = 2aV_0 \, \Sigma \, k \quad (30)$$

L'expression de la capacité sera

$$\frac{E}{V_0} = 2a \; \Sigma \; k_n. \quad (31)$$

N. Boulgakoff,
Privat-docent de l'Université de Saint-Pétersbourg.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (¹)

CONTACTS SUPERFICIELS A COMMUTATEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (*suite*).

Nous avons décrit antérieurement le système de tramway électrique à contact superficiel de M. Mac Laughlin (²); cet inventeur, ayant reconnu les inconvénients de ce premier système, en a imaginé un nouveau qui rappelle à la fois le système Westinghouse — parce que les distributeurs électromagnétiques sont actionnés par le courant d'une batterie portée par la voiture au moyen de patins et de pavés de contact spéciaux — et le système Claret-Vuilleumier — parce qu'un même distributeur actionne une certaine longueur de voie.

La figure 73 en représente le principe.

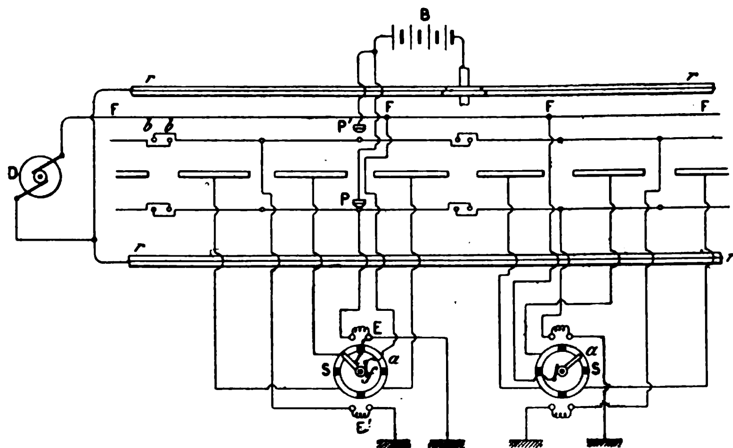


Fig. 73. — Schéma des connexions du système Mac Laughlin.

Entre les rails *r r* de la voie et dans l'axe de celle-ci, sont disposés à fleur de terre des rails de contact isolés les uns des autres et du sol comme dans tous les systèmes à contacts superficiels; la longueur de chacun de ces rails de contact est un peu inférieure à la longueur d'une voiture. C'est sur eux que vient frotter le trôlet inférieur porté par la voiture et dont la longueur doit être suffisante pour ne pas quitter un des rails de contact avant d'être déjà en contact avec le suivant. Un certain nombre de ces rails de contact sont reliés respectivement aux touches d'un même distributeur S; chaque distributeur porte une touche de plus que le nombre de rails qui y sont reliés; cette touche *a* est isolée et c'est sur elle que s'arrête le levier de contact lorsque l'appareil est au repos. Sur le dessin nous avons supposé, pour plus de simplicité, que 3 rails seulement sont reliés à chaque distributeur, qui comprend donc 4 touches. Le levier de contact est en communication avec la source d'électricité D par l'intermédiaire du frotteur *f* et du conducteur *f* F; lorsqu'il tourne autour de son axe, il vient donc mettre chacune des touches et, partant, chacun des rails de contact avec la source d'électricité.

La rotation du bras de contact est obtenue, comme dans le système Claret-Vuilleumier au moyen d'électro-aimants agissant sur des roues à rochet.

Les figures 74, 75 et 76 représentent les détails de construction du distributeur avec 12 touches et un seul électro-aimant 31, dont l'armature 40, par un levier coudé 37 pivoté sur un axe 41, pousse le taquet 33 sur les dents de la roue à crochet 35, solidaire de l'axe 20 portant le levier de contact 22; celui-ci vient frotter sur des touches telles que 17, qui sont isolées sur un plateau en ardoise 14, et qui sont respectivement en communication avec les rails de contact par l'intermédiaire de fils 16, fixés à des bornes 15 qui sont elles-mêmes reliées aux touches 17 par

(¹) Voir *L'Éclairoge Électrique* des 31 juillet, 7 et 28 août et du 4 septembre, p. 241, 298 ec 463.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 600, 28 décembre 1895.

des plomb fusibles 18. Pour obtenir la marche avant et la marche arrière à volonté, on dispose dans chaque distributeur deux électro-aimants, dont les armatures distinctes actionnent deux roues à rochet faisant tourner le levier *e* en sens contraire, suivant que l'un ou l'autre est mis en activité.

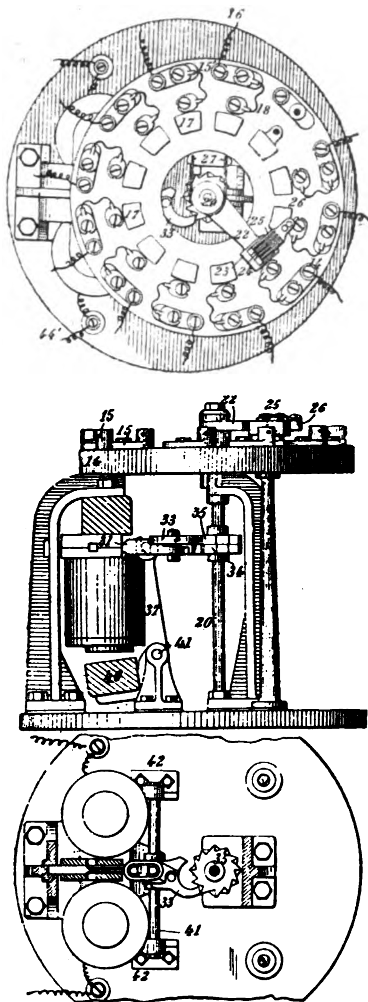


Fig. 74, 75, 76. — Détail de construction du commutateur Mac Laughlin.

La figure 73 fait voir comment l'un ou l'autre de ces deux électro-aimants est mis en service à volonté.

A droite et à gauche des rails de contact, il y a une rangée de boutons de contact *b b* sur lesquels peuvent venir frotter respectivement deux patins P et P′ qui sont reliés au même pôle d'une batterie d'accumulateurs B portée par la voiture et dont l'autre pôle est à la terre par l'intermédiaire de la roue R et des rails *r*. Les deux patins P sont montés aux extrémités d'un même levier pivoté en son milieu de façon que l'un d'eux soit relevé lorsque l'autre est en contact avec la rangée correspondante de boutons. Les boutons des deux rangées sont placés l'un en face de l'autre et en face du milieu de l'intervalle de deux rails contigus *r c*. Dans chaque rangée, tous les boutons appartenant à une même section c'est-à-dire à une section alimentée par un même distributeur, sont reliés en série entre eux et en dérivation avec l'un des électro-aimants E du distributeur, comme le représente clairement le schéma. Aux deux extrémités de chaque section il y a deux boutons très voisins dans chaque rangée, qui appartiennent respectivement aux deux sections contiguës, afin qu'il ne puisse y avoir d'interruption dans l'alimentation des moteurs de la voiture. Pour faire marcher la voiture dans une direction ou dans l'autre, le mécanicien n'a qu'à manœuvrer un levier qui met un des patins P ou P′ en contact avec la rangée correspondante de pavés *b*, tandis que l'autre patin se relève automatiquement.

Les figures 77 et 78 représentent le mode de montage des rails et des pavés de contact; ces derniers sont construits comme le représente la figure 79, de manière être facilement démontés et remontés; les figures 80 et 81 représentent deux modes de montage des sabots de contact sur une des traverses 72 du truck; la tige 76 qui porte ce sabot 46 est poussée vers le bas par un ressort 82 et guidée par des tiges articulées 74 et 75, ce qui permet au sabot de s'adapter aux inégalités de la voie; il y a, comme nous l'avons expliqué déjà, deux sabots de contact sur chaque voiture, en plus du trôlet, l'un à droite, l'autre à gauche de celui-ci; leurs deux tiges 76 sont solidaires d'un même système de leviers, de façon que l'un des sabots s'abaisse au contact pendant que l'autre s'élève et *vice versa*.

Dans le système F. C. Esmond, lorsque le patin collecteur de la voiture, — qui est encore en contact avec le pavé précédent, — vient frotter sur le pavé ou dôme A (fig. 82),

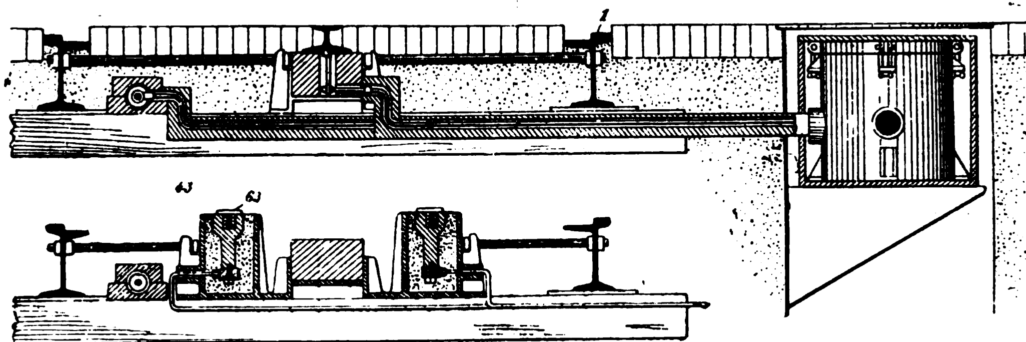


Fig. 77 et 78. — Montage des voies, système Mac Laughlin.

une partie du courant se dérive dans l'enrou-

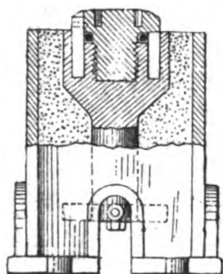


Fig. 79. — Détail d'un bouton de contact.

lement G de fil fin et long de l'électro contenu dans le dôme; à cet effet, celui-ci porte une tige élastique *c* terminée par un peigne *b* qui vient s'engager dans un autre peigne *a* qui est relié à une extrémité de l'enroulement G, dont l'autre extrémité est à la terre par le conducteur N qui traverse le massif isolant B. Cette dérivation cause l'attraction du noyau M dont l'extrémité supérieure vient en contact avec le dôme A tandis que son extrémité inférieure vient, par la tige L, s'engager dans les mâchoires E et K reliées, le premier au câble distributeur, et le second au dôme par l'intermédiaire de l'enroulement en fil gros et court de l'électro. Le dôme présente une projection inférieure I qui pénètre

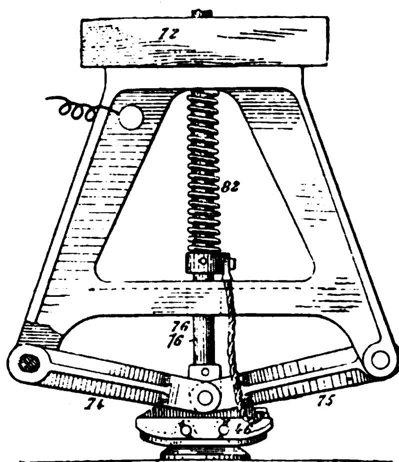
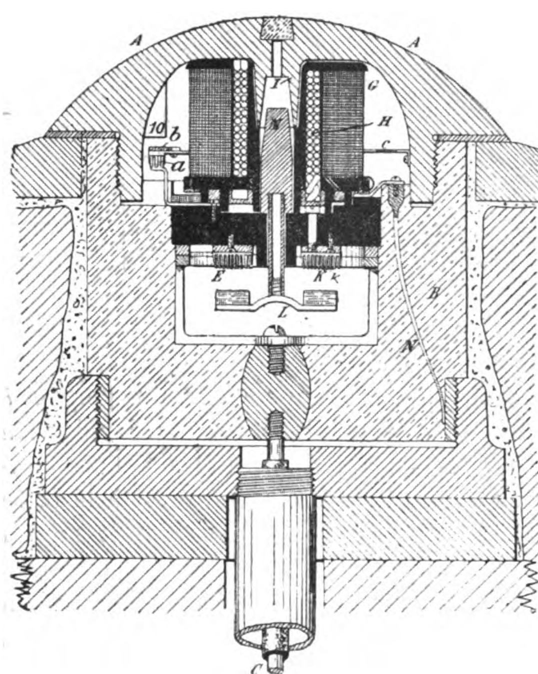


Fig. 80 et 81. — Détail du montage des sabots de contact.

dans l'électro-aimant; lorsque le courant principal passe dans l'enroulement H, le dôme s'aimante ainsi suffisamment pour que la saillie 10, que porte le dôme, attire

l'armature en fer doux fixée au peigne *b*; la communication à la terre se trouve ainsi rompue.

Au lieu de rompre cette dérivation par action magnétique, on peut, comme l'indique la figure 83, rompre le circuit par l'intermé-



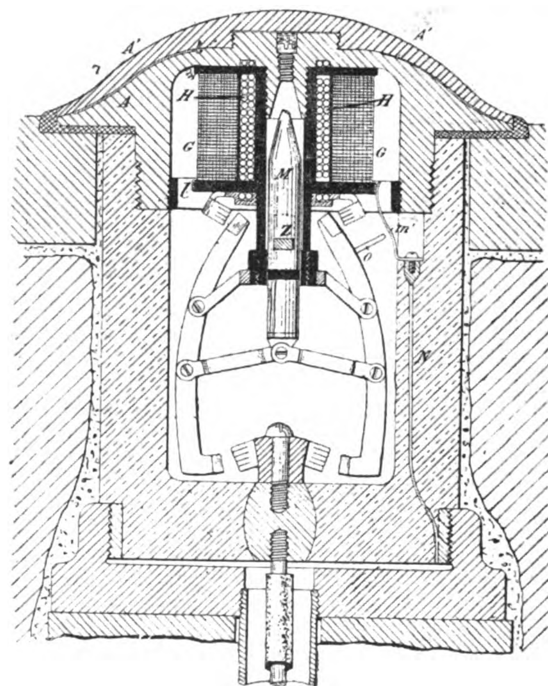


Fig. 82 et 83. — Commutateur Esmond.

diaire d'un ressort *m'* appuyant sur l'anneau *l* relié au circuit G et qu'un doigt *o*, mobile avec les contacts T, vient soulever.

Aux départs ou à la suite d'accidents, de « ratés », il faut provoquer l'attraction du noyau indépendamment du courant principal. Dans ce but, la voiture porte une batterie d'accumulateurs R (fig. 84), qui peut à volonté

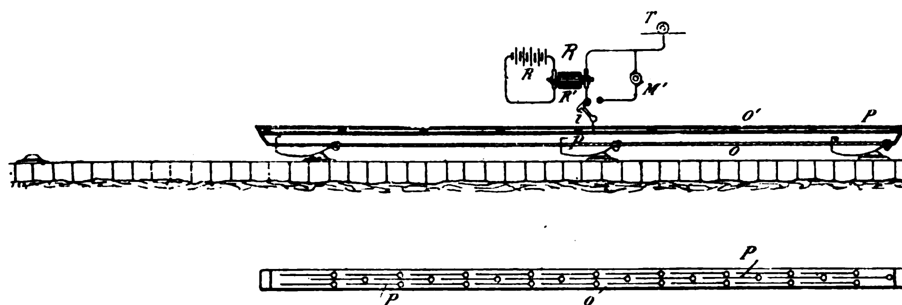


Fig. 84. — Commutateur Esmond. Schéma des connexions et disposition des ressorts de contact.

actionner un transformateur rotatif R′ dont le courant peut être lancé dans l'enroulement G, au moyen du commutateur *i*; la roue T met le circuit des moteurs et du transformateur à la terre à une de ses extrémités. On pourrait supprimer le transformateur, mais la résistance de l'enroulement G étant élevée, il faudrait employer une batterie d'un grand nombre d'éléments.

Les patins collecteurs sont formés par des ressorts P fixés en grand nombre sur une plaque métallique *o* dont ils sont isolés et qui

se soulevant lorsqu'ils rencontrent les pavés de contact, viennent buter sur la plaque métallique *o'* qui est en communication avec le circuit des moteurs.

On peut aussi, avec les mêmes commutateurs électromagnétiques, adopter les communications suivantes : les pavés de contact sont remplacés par des rails sectionnés, A, B, E..., M, comme le représente la figure 85; la voiture porte un trôlet formé de plusieurs galets ou ressorts frottant sur les rails sectionnés et d'une longueur suffisante pour que les frotteurs extrêmes puissent réunir au moins quatre tronçons consécutifs du rail sectionné.

Supposons la voiture en marche dans la direction de la flèche et le commutateur 1 fermé, le frotteur antérieur du trôlet n'ayant pas encore quitté le tronçon E (le commutateur V fermant le circuit des moteurs D); les moteurs seront alimentés par F, H, B et E, C, D et D', le retour du courant se faisant par les rails R de la voie. Lorsque le frotteur antérieur viendra en contact avec le rail F, une partie du courant principal se dérivera

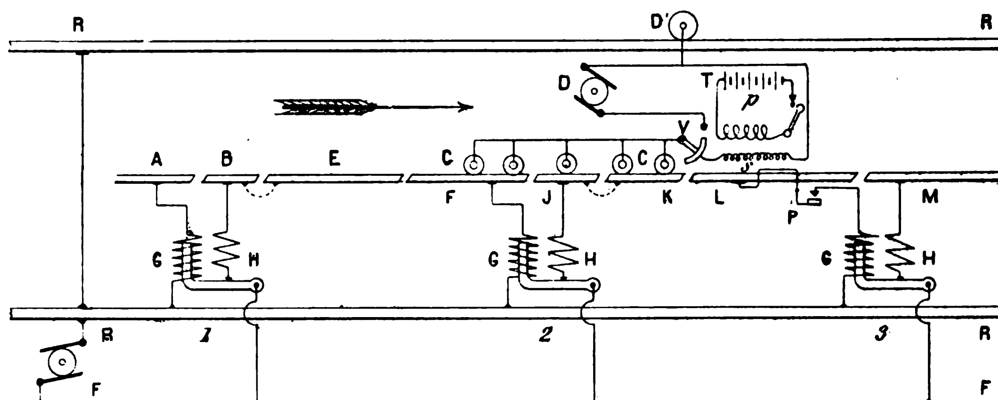


Fig. 85. — Canalisation Esmond. Schéma des connexions.

par l'enroulement G du commutateur 2 dont l'armature sera attirée, ce qui aura pour effet de fermer le circuit principal sur le tronçon J et le rail K qui y est relié. L'alimentation continue des moteurs sera ainsi assurée. Si les deux tronçons de rails E et F n'étaient pas séparés, une fois un des commutateurs fermés, les suivants se fermeraient de proche en proche jusqu'à ce que toute la ligne soit électrisée, puisqu'une partie du courant se dériverait directement par les enroulements G. Il est évident que si une dérivation importante par défaut d'isolement des deux tronçons venait à se produire, le même inconvénient serait inévitable.

Au lieu d'établir à demeure la communication entre les enroulements G et les rails sectionnés correspondants, on peut l'établir au moyen d'un contact mobile tel que P (3ᵉ section) qui est manœuvré par le trôlet lui-même, ce qui évite l'inconvénient ci-dessus; en outre, comme le commutateur correspondant ne sera actionné par la fermeture du contact P que si le rail I est électrisé, il n'y a pas à craindre que l'abaissement fortuit de ce contact par un piéton ou une voiture quelconque entraîne d'accidents.

Les voitures 86 et 87 représentent les détails de construction pour l'isolement des rails sectionnés et le montage du commutateur; on y voit le contact P à une plus grande échelle.

Lors de la mise en marche, pas un commutateur n'étant fermé, il faut en actionner un de la voiture; celle-ci porte dans ce but une batterie d'accumulateurs T et une bobine d'induction *p s*, destinée à augmenter la tension du courant, comme nous l'expliquions précédemment. Pour que la mise en marche puisse se faire quelle que soit la position de

la voiture sur la voie, il faut que le trôlet C réunisse au moins quatre sections contiguës du rail central.

La canalisation souterraine de H.-C. Reagan ne présente rien de bien particulier.

Entre les rails de roulement, dans l'axe de

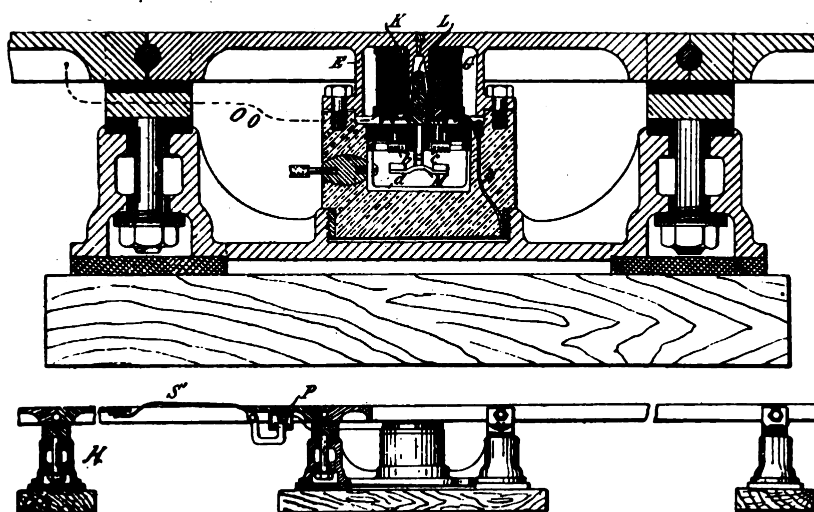


Fig. 86 et 87. — Canalisation Esmond. Montage des voies.

la voie, à l'intérieur d'une conduite fermée G (fig. 88 et 89) en matière isolante convenable,

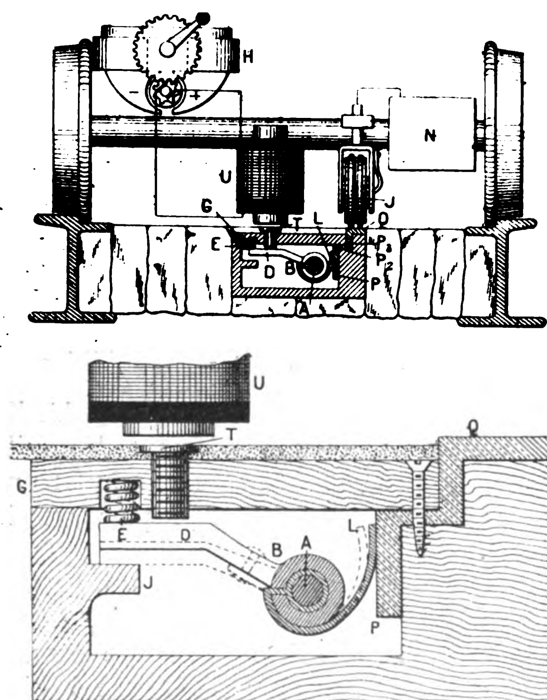


Fig. 88 et 89. — Conduite Reagan.

est tendu un conducteur rigide A en communication avec la source d'électricité. Sur ce conducteur, de distance en distance, sont montés des bras métalliques L, B, D qui peuvent tourner autour de ce conducteur comme axe et qui sont terminés à une extrémité par une lame en ressort L et à l'autre extrémité par une masse de fer D. Un ressort E tend à pousser le bras D vers le bas, en sorte que le levier D, B, L occupe en temps normal la position représentée en pointillé. Au-dessus du bras D, se trouve un noyau en fer T, dont la partie supérieure vient affleurer la surface du sol. En face de l'extrémité L se trouve une plaque métallique P qui aboutit à l'extérieur, en Q où elle fait légèrement saillie sur le sol.

La voiture porte, outre son moteur ordinaire N, un électro-aimant V qui, dans le mouvement de la voiture, vient passer au-dessus du noyau T. Cet électro-aimant est parcouru par une dérivation du courant principal, mais il peut être animé à volonté par un petit générateur à main H ou par une batterie d'accumulateurs portée par la voiture, lorsque le courant principal aura été interrompu accidentellement ou n'aura pas encore été établi, comme au moment des démarrages. La voiture porte aussi une roue de contact J,

formée de plusieurs disques indépendants K, K, montés sur le même axe et dont les rayons sont formés par des ressorts R′ (fig. 90) ; cette

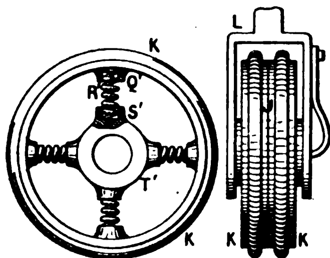


Fig. 90. — Détail des roues de contact, système Reagan.

roue J frotte sur la plaque métallique Q et communique avec le circuit des moteurs ; grâce à la disposition particulière de la roue J, on obtient toujours une prise de courant satisfaisante.

Lorsque l'électro-aimant U passe au-dessus du noyau T, il l'aimante, et celui-ci, attirant le bras D, établit le contact entre la plaque P et le conducteur A par l'intermédiaire du ressort L ; les dimensions sont calculées pour que le bras D ne puisse venir au contact du noyau T. Lorsque la voiture s'est éloignée, le noyau T cessant d'être aimanté, le bras D est ramené en bas par le ressort E et le contact est rompu en P.

RETOUR DU COURANT

Le joint de la Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève, se compose (fig. 91 et

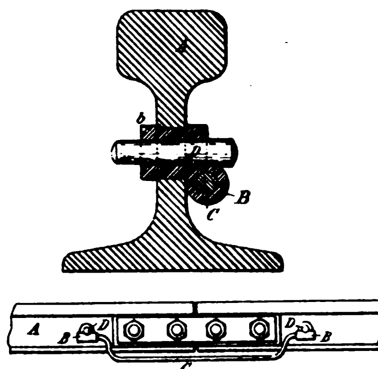


Fig. 91 et 92. — Joint électrique de rail de la Compagnie l'Industrie électrique de Genève.

92) d'un manchon *b* en métal bon conducteur et malléable, qui porte un épanouissement B dans lequel est fixé le conducteur C qui doit effectuer la liaison entre les deux bouts de rail ; on introduit le manchon *b* dans le trou percé dans l'âme du rail et on y force à coups de marteau une cheville conique D en métal dur ; en raison de la malléabilité du métal *b*, on obtient ainsi un contact excellent entre le rail et l'éclissage électrique, qui se trouve, en outre, rivé automatiquement.

G. Pellissier.

SUR LE RENDEMENT DES OZONISEURS ET LE DOSAGE DE L'OZONE

Il serait très curieux d'établir un parallèle entre les conditions de préparation de l'ozone dans les laboratoires et dans l'industrie. Sans aucun doute, la comparaison serait très défavorable aux appareils pratiques, quelque supérieurs qu'ils soient aux instruments de laboratoire qui semblables aux chevaux de course, font des merveilles de vitesse pendant très peu de minutes, mais ne pourraient pas tenir longtemps.

Vous trouverez dans des mémoires de sociétés savantes ainsi que dans certains journaux des descriptions d'expériences, des diagrammes, des tables remplies de chiffres, accusant des rendements comme on n'en a jamais vu, comme on n'en voit pas, comme on n'en verra jamais (1). Quel cas faut-il faire de ces rendements ?

(1) Un journal de Philadelphie décrit les appareils d'une compagnie d'ozone, qui donnent 45 p. 100 d'ozone par cheval-heure (45 p. 100 de quoi ? le journal américain ne le dit pas). Cette compagnie fournirait 1000 pieds cubes d'ozone pour un dollar. C'est moins qu'une compagnie anglaise dont un des directeurs offrait en 1896 5000 pieds cubes d'ozone pure pour 4 shillings. Tout cela, pour arriver à des chiffres réels très maigres.

Les ozoniseurs dont on s'est servi n'ont pas travaillé en marche continue ; ils n'ont jamais fonctionné huit heures de suite ; ce sont des joujoux un peu plus grands que les ozoniseurs d'il y a trente ans. C'est injustice que de les comparer à des générateurs industriels d'ozone qui peuvent marcher jour et nuit en fournissant chaque heure une somme de travail que les autres sont incapables de fournir.

Avant tout il faut s'entendre sur la manière de déterminer l'ozone. Il y a plusieurs moyens d'obtenir des chiffres très élevés se rapprochant du rendement théorique de l'ozone. Il y a même beaucoup de moyens pour arriver à des chiffres absolument erronés. Suivant que vous vous servirez d'iodure de potassium acheté ici ou là, vous arriverez à des conclusions toutes différentes. Si vous acidulez votre solution comme le font ceux qui visent aux grands résultats, point n'est besoin de faire passer de l'ozone dans l'iodure, procédez de suite au titrage, et la quantité d'hyposulfite de sodium nécessaire pour la décoloration du mélange additionné d'amidon vous dira combien d'ozone a été absorbé. Mais comme vous *n'avez pas fait passer d'ozone* dans la solution, vous conviendrez que c'est un tour de passe-passe que de *constater la présence d'ozone* qu'on n'a pas eu, et qu'on n'a pas mis dans un liquide.

Influence de la pureté des produits chimiques, influence de l'acidulation préalable de l'iodure. Voilà déjà des sources d'erreur. Si on n'est pas bien habitué à la détermination de l'ozone, si on n'a pas la main faite par vingt ou trente expériences, quand même on serait un chimiste de premier ordre, il y 80 chances sur 100 pour qu'on se trompe. N'ajoutez aucune foi à une ou deux expériences isolées. Elles ne disent pas la vérité.

Une détermination d'ozone est chose très délicate, et ceux qui savent à quoi s'en tenir à ce sujet, n'ajoutent aucune importance aux chiffres que donnent certains expérimentateurs, parce qne les conditions d'exactitude et de vérité scientifiques n'ont généralement pas été remplies.

Il est véritablement étrange qu'aujourd'hui encore on se serve pour la détermination de l'ozone des mêmes petits instruments de laboratoire qu'on employait il y a quarante ans quand les ozoniseurs étaient minuscules.

Seuls, les docteurs Frölich et Erlwein de la maison Siemens ont modifié la vieille méthode en l'adaptant à une production plus considérable d'ozone. Ils prennent ordinairement 2 litres de solution contenant de 3 à 6 p. 100 d'iodure de potassium pour l'absorption de la quantité d'ozone qui est fournie par un appareil de 10 tubes Siemens. Ils n'acidulent pas l'iodure au début mais pour éviter les pertes qui auraient lieu par suite de l'oxydation de l'iode en acide iodique, ils ajoutent avant le titrage 2 cm^3 d'acide sulfurique au 10me ou 50 cm^3 d'eau gazeuse.

Cette addition d'acide faible est indispensable quand il s'agit d'une quantité quelque peu forte d'ozone, car autrement la valeur trouvée par titrage serait trop petite à cause de l'iode non titré.

Un autre point à considérer, c'est que lorsqu'on expérimente avec des appareils de petite dimension, l'air ozonisé sort par un tube d'une dimension quelconque mais toujours favorable à l'élimination du gaz effluvié à mesure qu'il se produit, de sorte que, c'est pour ainsi dire l'ozone total du générateur pendant un temps donné, qui passe dans la solution d'iodure de potassium, tandis que lorsqu'on se sert d'un ozoniseur industriel de grande surface on place un flacon laveur de petite dimension, à tube étroit, comme chacun le sait, au milieu de l'ouverture du tuyau de sortie de l'ozoniseur qui a au moins 10 cm de diamètre. L'ozone est aspiré par la circulation de 4 à 5 litres d'eau. Y a-t-il condition égale entre l'ozoniseur à petites surfaces et l'ozoniseur industriel ?

Evidemment ce sera toujours le petit appareil qui semblera toujours produire le plus d'ozone.

Pour mieux faire ressortir la valeur de cet argument contre l'emploi des solutions d'iodure fortement acidulées, voici des chiffres qui montrent les différents rendements qu'on obtient suivant la proportion d'acide qu'on ajoute avant l'ozonisation dans le flacon barboteur. Les conditions de vitesse du passage de l'air à travers la solution, de courant et de volts, ainsi que de durée de l'expérience étaient identiques dans tous les cas, et l'iodure de potassium était de qualité absolument semblable.

En employant 16,6 gr d'iodure de potassium chimiquement pur dissous dans 250 cm^3 d'eau distillée additionnée, avant le passage de l'ozone, de 9,8 gr d'acide sulfurique, la quantité d'hyposulfite de sodium absorbée a accusé un rendement de 240,56 gr d'ozone par cheval heure de 746 watts.

Les résultats ont été bien moins élevés en réduisant à un minimum rationnel cette forte acidulation condamnée par Sir Benjamin Brodie et par d'autres chimistes.

La méthode que j'ai adoptée pour cette comparaison de détermination de l'ozone suivant le plus ou moins d'acide employé est la suivante :

Il n'est pas juste de se servir d'iodure neutre ou alcalin ; c'est tomber d'un extrême dans l'autre et on n'obtient que des résultats dérisoirement bas et forcément inexacts. Entre l'acidité et l'alcalinité on se trouve comme entre Charybde et Scylla. Au lieu d'ajouter 9,8 gr d'acide sulfurique à la solution d'iodure, on n'en met que 0,01, c'est-à-dire juste ce qu'il en faut pour donner une tendance acide au liquide et pour donner une teinte rougeâtre au papier de tournesol. Lorsque la solution d'iodure a été ozonisée, on l'additionne avant titrage de 0,09 gr d'acide. Nous voilà bien loin de 9,8 gr d'acide sulfurique, mais le rendement en ozone n'est plus que de 75 et 76 gr, et c'est aussi bien loin de 240 gr d'ozone par cheval-heure.

La morale de ceci est que : le rendement en ozone diminuera à mesure qu'on emploiera moins d'acide et qu'à un moment donné, au lieu de 240 gr, on n'en aura plus que 75 et qu'inversement le chiffre de 75 grammes s'élèvera si au lieu de 0,01 gr d'acide on en met davantage et qu'arrivé à 9,8 gr d'acide on retrouvera le rendement fantaisiste de 240 gr.

Au pied du mur, on voit le maçon et au risque de me faire accuser de sacrilège, je dirai que toutes ces déterminations d'ozone sont au fond des billevesées et que la meilleure preuve d'efficacité qu'on puisse vous fournir en faveur de tel ou tel générateur d'ozone c'est le travail qu'il effectuera dans l'oxydation à froid de 25, 50 ou 100 kilos d'une substance telle que l'huile de lin pure par exemple, d'une densité de 0,935 et qui devra être amenée à une densité de 0,940 ou 0,945. La surface des électrodes sera plus ou moins grande au gré des concurrents. Celui qui aura le meilleur ozoniseur sera évidemment celui qui aura oxydé et épaissi l'huile dans le moins de temps et avec le moins de watts possible.

A toutes les méthodes chimiques de détermination d'ozone, les esprits pratiques préféreront l'épreuve que je propose de juger l'arbre par les fruits et les ozoniseurs par le travail réel qu'ils peuvent accomplir dans un temps donné et le plus économiquement.

J'ajouterai que quoique on ait parlé de 18 grammes comme le maximum qu'on puisse obtenir de mes ozoniseurs, je ne crois pas m'aventurer en disant que des analyses dans lesquelles je me place exprès dans des conditions défavorables me permettent d'affirmer qu'en marche industrielle, sans développement de chaleur et sans circulation d'eau, le rendement de mes ozoniseurs actuels n'est pas au-dessous de 100 grammes par cheval-heure.

E. Andreoli.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateurs G. Vilkinson, pour moteurs (¹).

Il arrive fréquemment que l'on ait à installer dans un atelier un moteur électrique au-dessus d'une machine-outil ne se trouvant pas à proximité d'un pilier ou d'une muraille permettant d'y fixer les organes d'une mise en marche. Comme on ne peut suspendre ceux-ci, on est obligé de créer des dérivations longues et coûteuses qui compliquent toujours l'installation. M. G. Wilkinson semble avoir simplifié le problème en imaginant le type de commutateur à loquet dont les différents modèles sont représentés par les figures 1 à 4. Ces appareils se fixent au plafond près des moteurs et peuvent être manœuvrés à l'aide d'une cordelette dont le bouton ou l'anneau pend à portée de la main de l'ouvrier. Dans le premier (fig. 1 et 2) la

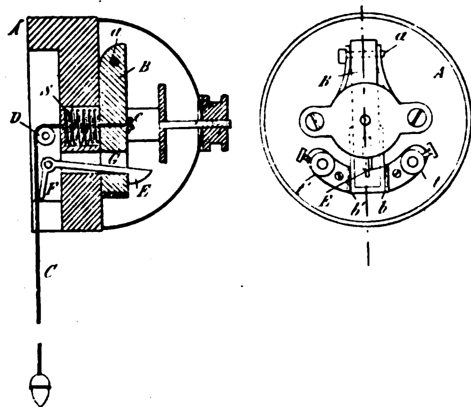


Fig. 1 et 2. — Commutateur Wilkinson. Coupe et plan.

touche B pivote en *a* sur A, est traversée en son centre par la corde C et est munie, près de l'extrémité qui établit le contact avec la seconde borne, d'un petit canal G livrant passage à un loquet E destiné à maintenir le commutateur fermé tel que le représente la figure 1. Pour l'ouvrir il suffit de tirer C en appuyant fortement sur la droite, c'est-à-dire sur la tige F du loquet qu'elle force à se dégager; on lâche ensuite en maintenant la corde dans cette position. Sous l'action de son ressort S, B se sépare de la touche et vient appuyer contre la plaque de garde *e* à distance réglable de l'extérieur par un écrou à molette. Pour le fermer on tire verticalement jusqu'à ce que le loquet retombe de lui-même en prise sur B.

Le modèle des figures 3 et 4 ne diffère

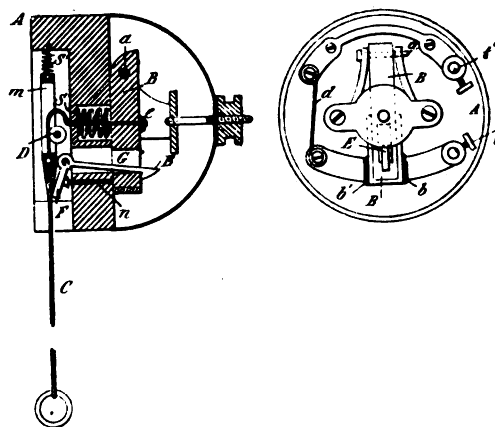


Fig. 3 et 4. — Commutateur Wilkinson. Modèle avec plomb fusible.

du précédent que par l'adaptation d'un fuseau *m*, à ressort de rappel *s*, sur la corde C. Par suite, il n'y a qu'à tirer cette dernière verticalement pour déclancher E et ouvrir le commutateur. Malgré cela, pour le fermer, il faudra tirer C en écartant un peu sur la gauche pour que le fuseau n'empêche le loquet de retomber librement en prise. Ce modèle peut être pourvu d'un plomb fusible *d* inséré entre les deux bornes *t* et *t'* de façon à n'apporter aucun trouble dans le fonctionnement de l'appareil. L. D.

(¹) Brevet anglais, n° 12330, déposé le 5 mars 1897, délivré le 3 juin 1897, 9 figures.

Commutateurs M. Biswanger, pour sonneries [1].

Dans ce brevet, l'inventeur revendique certains perfectionnements qu'il a apportés dans la construction des petits commutateurs servant à des sonneries d'appel. Dans la figure 1

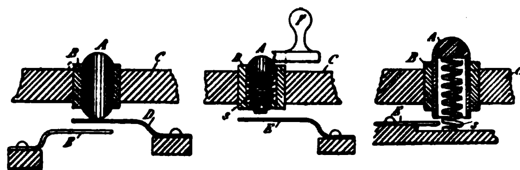


Fig. 1 à 3. — Commutateurs Biswanger.

le bouton ordinaire est remplacé par un coulisseau en matière isolante A engagé à frottement doux dans une douille B encastrée dans un support C. Des deux lames de contacts E et D, l'une D sert de ressort et ramène A dans sa position primitive dès qu'on n'appuie plus. La forme du coulisseau et la disposition des contacts peuvent être variées comme le montrent les figures 2 et 3 ; dans l'une, un ressort a boudin S enroulé autour de A maintient les contacts écartés ; ce modèle est pourvu d'une poignée F qu'il suffit de tourner pour fermer le circuit en E ; dans l'autre S est placé à l'intérieur de A et a pour point d'appui la planchette sur laquelle est fixé le contact E. L. D.

Chariots-tracteurs de la Société de traction électrique sur les voies navigables [1].

Ces chariots sont destinés à remplacer les chevaux pour la traction des bateaux sur les canaux [2] ; ils sont munis de moteurs électriques

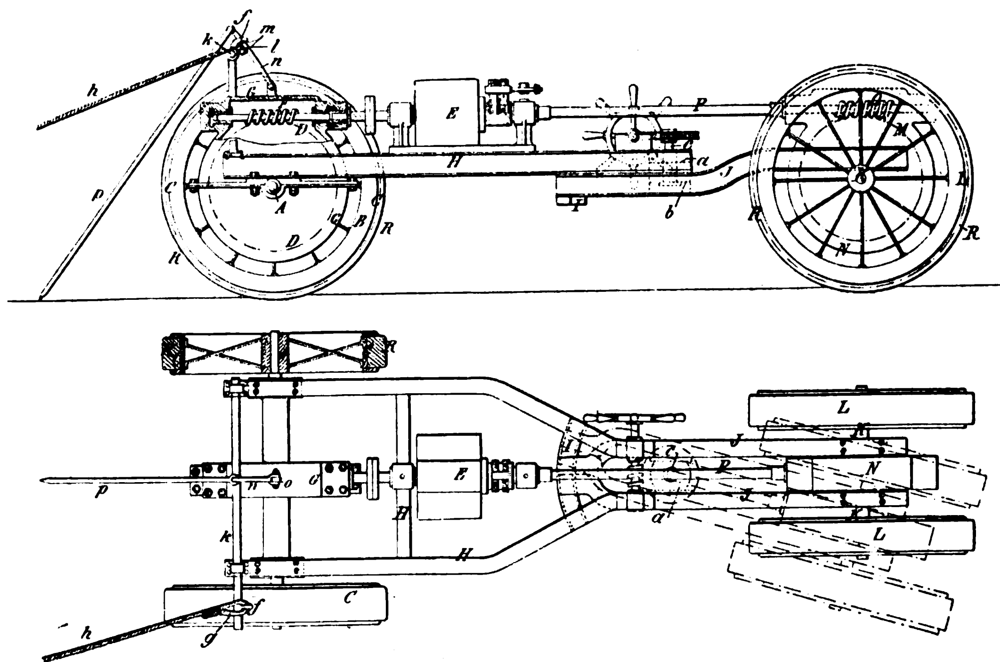


Fig. 1 et 2. — Chariot-tracteur quadricycle de la Société de traction électrique sur les voies navigables.

auxquels l'énergie est fournie par des stations échelonnées sur les rives du canal et par l'intermédiaire d'un fil aérien et d'un trôlet.

Le modèle représenté par les figures 1 et 2 est à quatre roues, chaque paire supportant un châssis, l'un H et l'autre J ; ces deux châssis sont réunis par une cheville ouvrière *c*

(1) Brevet anglais, n° 9974, présenté le 8 février 1897, délivré le 3 avril 1897.

(1) Brevet anglais, n° 13604, déposé le 17 mars 1897, accordé le 12 juin 1897 ; 4 figures.

(2) Voir aussi p. 486.

rendue solidaire de J pour servir à diriger l'avant-train par l'intermédiaire d'une roue dentée et d'un pignon hélicoïdal, claveté sur l'axe de la roue du gouvernail.

L'arrière-train porte le moteur E entraînant deux arbres, l'un rigide F qui attaque, par une vis hélicoïdale une roue dentée D solidaire de l'essieu; et l'autre flexible P qui commande l'avant-train par un dispositif analogue. Les engrenages sont abrités contre la poussière par des enveloppes métalliques G.

La surface portante des roues est très large, elle est constituée par une épaisse bande de caoutchouc R encastrée dans la rainure circulaire de la jante C. Cette disposition a l'avantage d'augmenter notablement l'adhérence des roues.

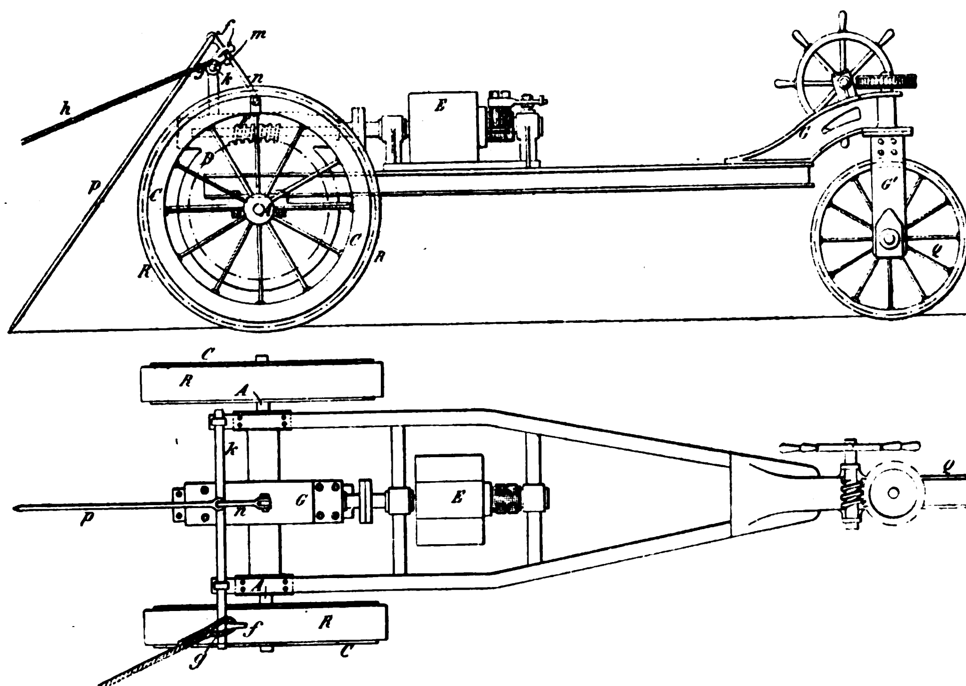


Fig. 3 et 4. — Chariot-tracteur tricycle. Coupe et plan.

Les appareils de fixation du câble de remorque sont d'une manœuvre très simple. Ce dernier *h* étant engagé dans le croc *f* d'un basculeur *k*, il suffit, pour l'en faire sortir, de pousser la tige *p* de *n* de façon à dégager les mâchoires *m* qui le retiennent par la tige horizontale *k*. Cette dernière retombe en arrière et avec elle le croc *f* dont la forme facilite la sortie de l'œil du câble.

Dans le type de chariot tricycle, le châssis en une seule pièce porte à son extrémité un prolongement G muni d'une douille que traverse l'axe de la fourche G′. La direction s'obtient comme pour le type à 4 roues à l'aide du gouvernail dont l'arbre hélicoïdal engrène avec la roue dentée solidaire de l'axe de la fourche.

Les organes de propulsion ont la même disposition que sur l'arrière-train du précédent modèle. L. D.

Les compteurs d'électricité;

Par T.-P. Wilmshurst [1].

Les qualités qu'on doit exiger d'un compteur sont multiples; on peut les définir ainsi : 1° Exactitude; 2° certitude de fonctionnement; 3° durée; 4° faible courant de démarrage; 5° absence de bruit; 6° impossibilité par

(1) Communication faite à l'Association municipale d'Électricité (Angleterre), le 1er juillet 1897.

les intéressés de fausser les mesures; 7° insensensibilité aux champs magnétiques extérieurs; 8° réduction des organes mobiles au minimum; 9° faible consommation d'énergie; 10° absence de mouvement d'horlogerie, de liquides susceptibles d'être congelés, de mercure, de contacts ou commutateurs; 11° les compteurs d'énergie doivent mesurer les watts utiles; 12°, 13°, 14°, 15° insensibilité aux vibrations, changements de température, fréquence du courant, pression barométrique.

On peut, en outre, leur demander:

16° De pouvoir servir aussi bien sur des circuits à courants alternatifs; 17° de pouvoir être vérifiés rapidement; 18° d'être bon marché.

La plupart de ces qualités sont d'une nécessité évidente:

1° Il faut que les indications fournies par le compteur ne s'écartent pas de plus de 2 à 2,5 p. 100, en plus ou en moins, de la valeur exacte des quantités mesurées;

2° et 3° Les indications ne doivent pas être susceptibles de se modifier avec le temps, par suite de l'usure ou de l'encrassement des organes; on doit à ce point de vue recommander l'emploi d'enveloppes rigides permettant d'éviter l'introduction de la poussière, l'emploi d'organes en bronze phosphoreux de préférence à l'acier ou au fer qui peuvent se rouiller.

4° Il faut que le compteur soit susceptible d'enregistrer les consommations de courant les plus faibles, égales à, au plus, 1/50e de la capacité maxima du compteur.

Pour obtenir ce résultat, un grand nombre de solutions ont été proposées, notamment: emploi d'une bobine en dérivation dont l'action contre-balance les pertes par frottement, mais qui introduit une dépense additionnelle d'énergie électrique; emploi de la bobine en dérivation et d'un pivot inférieur à ajustement automatique, le pivot supérieur étant simplement maintenu par un guide; interposition d'une plaque de cuivre entre les aimants et le disque amortisseur, afin que les courants induits dans cette plaque, réagissant sur ceux engendrés dans le disque, causent une attraction; disque amortisseur flottant dans le mercure aux faibles charges, afin de soulager le pivot inférieur de toute pression.

10° Les mouvements d'horlogerie qu'on peut oublier de remonter, sont une cause d'erreur; le mercure, soit par ses vapeurs, soit par projection directe est susceptible de détériorer les organes de l'appareil; les contacts ou commutateurs peuvent par leur encrassement être une cause d'erreur.

11° Cette condition est capitale pour les compteurs à courants alternatifs. L'auteur cite un compteur qui non seulement retardait considérablement lorsqu'il était sur un circuit comprenant des lampes à arc, mais encore pouvait décompter lorsqu'on introduisait une inductance suffisante dans le circuit, en sorte qu'un abonné peu consciencieux, en laissant l'appareil en circuit dans ces dernières conditions, pendant les périodes de repos, pourrait paraître n'avoir rien dépensé, et même réclamer à la compagnie le prix du courant qu'il semblerait lui avoir fourni!

12°, 13°, 14° Les vibrations peuvent accélérer la marche de certains compteurs, à faible charge, et leur permettre de fonctionner rien que sous l'action de la bobine en dérivation; leur influence n'est plus sensible lorsque la charge est égale au 1/5e de la charge normale; les variations de fréquence et de température, dans les limites observées en pratique, ont une influence négligeable dans la plupart des compteurs actuels.

Un autre point discuté par l'auteur est le choix entre les compteurs d'intensité (ampères-heures-mètres) et les compteurs d'énergie (watts-heures-mètres).

Les seconds sont en principe préférables, mais on leur fait le reproche d'employer une bobine en dérivation; celle-ci, restant constamment en circuit, entraîne une perte constante et, en outre, son action peut être suffisante pour mettre le compteur en marche même lorsque aucun courant n'est réellement employé.

On a beaucoup exagéré l'importance des

pertes entraînées par la bobine en dérivation; M. Wilmshurst a relevé les valeurs suivantes sur les principaux compteurs employés :

Compteur	Hookham (c. alt.) . . .	1.5 à 2,5 watts.
»	Thomson.	2,3 à 3,3 »
»	Westinghouse	1,3 »
»	Edmonson	1 »
»	C[ie] Électrique, environ .	1 »
»	Scheeffer, environ . . .	1 »

Elles varient évidemment avec les dimensions du compteur.

Il faut remarquer que certains compteurs d'intensité emploient aussi une bobine en dérivation pour faciliter le démarrage.

Les pertes dans l'enroulement en série, proportionnelles à RI^2, augmentent rapidement avec la charge; elles atteignent souvent 12 ou 16 watts, en sorte que pour les services importants à longue durée elles sont souvent plus fortes que les pertes provenant de l'enroulement en dérivation.

La marche à vide possible est plus grave; elle se produit lorsque le couple moteur engendré par l'enroulement en dérivation est

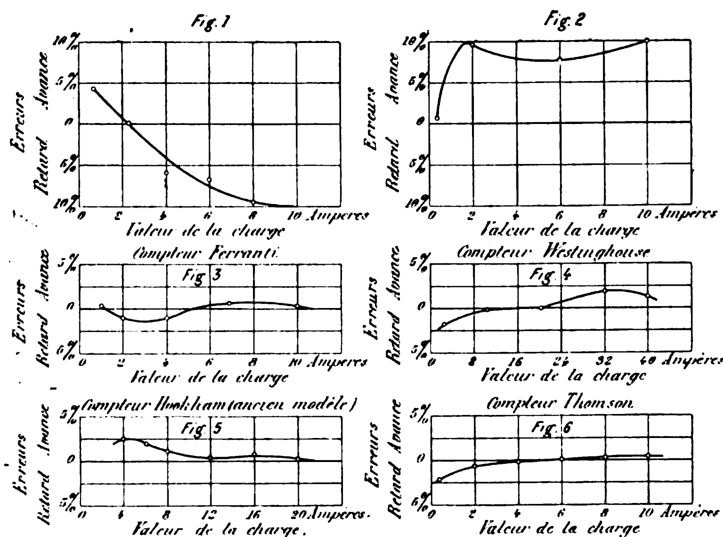


Fig. 1 à 6. — Courbes figuratives des compteurs à différentes charges.

supérieur au couple résistant dû aux frottements, etc.; c'est le cas pour le compteur Thomson. Dans le compteur Hookham, elle est empêchée en fixant sur le disque amortisseur une petite masse de fer qui est attirée par un des aimants permanents avec une force suffisante pour empêcher la rotation à vide, et assez faible cependant pour ne pas altérer les indications de l'appareil en marche; sans cette disposition, le compteur tournerait à vide avec la même vitesse que si 16 watts environ étaient dépensés.

Dans les compteurs Edmondson et Westinghouse, la rotation ne peut être produite que par l'action simultanée des deux enroulements, en série et en dérivation; cette cause d'erreur ne peut donc s'y produire.

Les compteurs d'énergie donnent des indications plus correctes que les compteurs de quantité, à moins que le voltage soit absolument constant; ils sont indispensables, avec les courants alternatifs et des charges inductives.

L'écart entre les mesures fournies par les deux classes d'appareils est parfois très sensible; l'auteur cite les chiffres suivants relevés en pratique :

1° Installation d'environ 100 lampes; 6 à 10 lampes en service 24 heures par jour; 60 à 70, environ 12 heures par jour; voltage moyen, 102 volts :

Compteur d'énergie	1 445 kilowatts-heure.
« de quantité . . .	1 375 »

2° 1 ou 2 lampes en service 8 heures par jour, 8, environ 2 heures par jour; voltage moyen 101 vatts;

Compteur d'énergie	23	kilowatts-heure.
« de quantité	18	»

3° 10 lampes en service environ 4 heures par jour, voltage moyen 101 volts.

Compteur d'énergie	41	kilowatts-heure.
« de quantité	40	»

Pendant la durée des essais, les bobines en dérivation des compteurs d'énergie avaient dépensé respectivement 2,5 ; 1,5 ; et 1,5 kw-h. Les compteurs d'énergie seraient donc préférables.

M. Wilmshurst insiste en terminant sur la nécessité de vérifier chaque compteur avant de le mettre en service ; on s'exposerait, sans cette précaution, à employer des compteurs aussi inexacts que ceux dont les courbes ci-jointes (fig. 1 et 2) indiquent le fonctionnement.

Heureusement la plupart des compteurs ne sont pas aussi défectueux, comme on peut s'en convaincre à l'inspection des figures 3 à 6. Comme exemple de l'essai d'un bon compteur, il cite les chiffres suivants obtenus avec un compteur Westinghouse [1].

Capacité du compteur (à 100 volts). .	100 amp.
Courant minimum enregistrable . . .	0,25 »
Chute de potentiel dans l'enroulement en série	0,1 volt.
Énergie dépensée dans l'enroulement en dérivation.	1,3 watts

ERREURS

Charge.	Circuit non-inductif.	Circuit inductif.
10 000 watts	— 1,41 p. 100.	
7 500 »	+ 0,12 »	
5 000 »	+ 1,58 »	
2 500 »	+ 2,29 »	
1 000 »	+ 1,16 »	
6 656 »		+ 0,33 p. 100.
3 861 »		— 1,74 »
1 355 »		+ 0,58 »

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 509, 16 mars 1895.

Ses qualités maîtresses sont donc : grande exactitude sur tous les circuits alternatifs; impossibilité de décompter sur les circuits fortement inductifs; faibles pertes ; construction robuste, couvercle en fonte à double fermeture ; pas de contact mobile; impossibilité de marche à vide. G. P.

Influence des moteurs synchrones sur le facteur de puissance des stations centrales à courants alternatifs;

Par R. Klasson [1].

Nous avons à diverses reprises [2] signalé l'influence des moteurs synchrones surexcités pour améliorer le facteur de puissance des distributions d'énergie par courants alternatifs comprenant un grand nombre de moteurs asynchrones fonctionnant généralement à des charges assez éloignées de la pleine charge ou ayant des facteurs de puissance assez faibles. M. Klasson nous permet aujourd'hui de donner quelques chiffres obtenus pratiquement et qui montrent bien le rôle réellement satisfaisant que jouent les moteurs synchrones en même temps que les puissances relatives des générateurs et du moteur synchrone.

La station centrale dont il s'agit, est celle de la fabrique impériale de poudre d'Ochta, près de Saint-Pétersbourg.

Le facteur de puissance pendant le jour, où la station n'a à alimenter que des moteurs asynchrones sous faible charge, varie en général entre 0,6 et 0,65 et peut descendre quelquefois beaucoup plus bas. La distribution ne comprend aucun moteur synchrone

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, du 13 mai 1897, p. 279.

[2] Voir A. Blondel. *Théorie des moteurs synchromes à courants alternatifs simples et polyphasés ;* Lahure, éditeur, Paris ; et *Industrie Électrique*, février-mars 1895. — F. Guilbert. Les moteurs synchrones et la théorie de M. Blondel, *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 436 1895. — P. Boucherot. Moteurs synchrones et asynchrones à courants alternatifs, *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 193. — E.-J. Berg. Sur l'emploi des moteurs surexcités dans la distribution à courants alternatifs, *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 22, 1897.

spécial, mais elle emploie deux transformateurs rotatifs, deux convertisseurs de courants triphasés en courant continu destinés à l'alimentation des arcs pour l'éclairage de nuit et à la charge d'une batterie d'accumulateurs.

La station centrale comprend deux machines Schuckert à courants triphasés, l'une capable de donner 33,8 ampères sous 2 050 volts à 428 tours, l'autre fournissant 50 ampères sous 2 050 volts à 300 tours. Elles sont commandées directement par turbine et chacune porte son excitatrice spéciale sur son arbre.

Les moteurs asynchrones marchant presque tous jour et nuit ont été fournis par la maison Siemens et Halske. Pendant le jour, la plus petite génératrice suffirait à les alimenter si le décalage n'était pas aussi grand.

Les deux convertisseurs, d'une puissance de 24 kilowatts chacun, distants de l'usine d'environ deux kilomètres (ligne composée de 3 fils de 5 mm de diamètre) sortent de la maison Schuckert. La tension de 2050 volts est d'abord ramenée de 70 à 73 volts simples triphasés de façon à donner $70 \times \sqrt{3}$ ou environ 120 volts pour le courant continu.

Ces appareils sont amenés au synchronisme en fonctionnant comme moteur à courant continu avec la batterie d'accumulateurs. Le courant normal d'excitation d'un convertisseur est de 2,5 ampères, le facteur de puissance est alors sensiblement égal à l'unité. Si l'on augmente le courant d'excitation, la composante déwattée croît très rapidement jusqu'à 280 à 300 ampères; le rhéostat d'excitation étant en court-circuit le courant d'excitation atteint 4,5 ampères. Le cos négatif devient au contraire positif si l'on diminue l'excitation au-dessus de 2,5 ampères.

Les résultats obtenus par l'auteur sont résumés dans les tableaux suivants :

ESSAIS	Nombre de tours de la dynamo.	CIRCUIT A HAUTE TENSION: Volts.	Ampères.	Kilowatts vrais.	Kilowatts apparents.	Cos φ.	EXCITATION de la génératrice: Volts.	Ampères.	Watts.	p. 100 de la puissance extérieure.	OBSERVATIONS
TABLEAU I. — *Puissance normale de la génératrice,* 120 *kilowatts; convertisseur,* 24 *kilowatts.*											
a	434	2050	27,5	60	97,7	0,612	68,5	19,5	1335	2,22	Excitation normale du convertisseur. soit 2,5 ampères.
b	410	2025	22	60	77,2	0,775	63,3	18	1140	1,90	Surexcitation du convertisseur, soit 4,5 ampères. Les instruments de mesure sont tous bien fixes.
c	441	2010	35,5	60	117	0,512	70	20	1400	2,35	Sous-excitation, soit 1,5 ampère.
TABLEAU II. — *Même génératrice et même convertisseur.*											
a	441	2000	31,75	45	110	0,41	69	19	1310	2,92	Convertisseur surexcité à 4,5 amp. instruments de mesure fixes.
b	415	2025	17	48	60	0,81	61	17	1035	2,16	
TABLEAU III. — *Puissance normale de la génératrice* 175 *kilowatts, convertisseur* 24 *kilowatts.*											
a	300	2005	32,5	80,8	112,2	0,72	55,5	29,75	1945	2,04	Excitation normale du convertisseur.
b	290	2090	24,2	83	87,5	0,95	53,88	29,2	1370	1,895	Surexcitation : ampèremètre oscillant.

Le second tableau donne les valeurs moyennes d'un grand nombre de lectures. Pour obtenir un plus grand décalage et augmenter ainsi l'effet du moteur synchrone, on a

ajouté à la charge ordinaire un transformateur de 100 kilowatts alimentant un moteur de 65 chevaux seulement, deux moteurs de 10 chevaux tournant à vide complétaient la charge, ceci explique la faiblesse du facteur de puissance 0,41 sans l'emploi de moteur synchrone; dans tous les essais on a fait varier l'excitation du moteur synchrone de façon à avoir 300 ampères par circuit, on n'a jamais modifié le réglage des turbines pendant chaque essai, ni l'excitation de la génératrice. Au début de chaque essai la puissance génératrice augmentait de 3 à 5 kilowatts et le voltage de 200 à 300 volts tandis que le courant diminuait beaucoup ainsi que la vitesse. Puis l'équilibre s'établissait peu à peu et au bout de deux minutes environ on constatait que la tension aux bornes s'était accrue toujours de 25 à 50 volts et le wattmètre revenait sensiblement à la même position.

Dans les essais de sous-excitation du moteur synchrone la tension tombait immédiatement à 1800 volts et le courant augmentait.

Le tableau III relate la difficulté de faire les mesures par suite de l'oscillation des aiguilles des appareils; ceci montre que l'effet du moteur synchrone était plus sensible sur la génératrice de 120 kilowatts que sur celle de 175 kilowatts et semblerait indiquer au dire de l'auteur qu'il faut pour chaque génératrice un moteur synchrone de puissance déterminée pour obtenir le meilleur facteur de puissance possible avec un minimum d'augmentation de puissance.

L'auteur a remarqué qu'il y avait intérêt à marcher dans la journée avec un convertisseur à vide et surexcité, surtout lorsque, comme dans l'expérience *c* du tableau I et l'expérience *a* du tableau II, le courant de la génératrice atteint sa valeur normale pour des puissances réelles de 45 à 60 kilowatts; toute surcharge est alors impossible tant par suite de l'échauffement de l'induit que de l'exagération du courant d'excitation.

J. R.

Sur un curieux effet de l'arc alternatif ;

Par Alfred Hay [1].

Au cours de quelques expériences sur l'arc alternatif entre électrodes métalliques, l'auteur a observé un phénomène remarquable. On a déjà constaté qu'il est très difficile de maintenir l'arc alternatif entre des électrodes métalliques ; sans certaines précautions spéciales, il est même impossible de l'établir. Des électrodes de fer sont portées au rouge sur une longueur considérable de chaque côté de l'arc. Dès que cette haute température est atteinte, l'arc s'éteint généralement et on ne peut le rétablir tant que les électrodes sont au rouge.

Or, si l'on dirige un jet d'hydrogène entre les deux électrodes, tandis que leurs extrémités sont encore à la température du rouge brillant (fig. 1), on observe l'effet suivant : la surface bien arrondie de chaque électrode se déforme et en son centre prend naissance un petit champignon qui grossit et s'avance graduellement jusqu'à la rencontre des deux protubérances (fig. 2 et 3). Dès que les deux excroissances sont arrivées à une faible distance l'une de l'autre ou peut-être en contact, l'arc se rétablit soudainement et les parties saillantes des électrodes se retirent instantanément en restituant aux extrémités des tiges leur forme arrondie primitive (fig. 1).

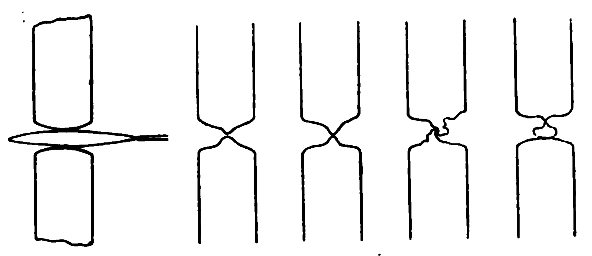


Fig. 1 à 5.

L'arc ne subsiste entre elles que pendant une seconde ou deux ; après son extinction la même suite de phénomènes reprend, des proéminences de la forme la plus fantaisiste

[1] *The Electrician*, 13 août 1897.

apparaissent sur les électrodes, s'avancent lentement jusqu'à ce que l'établissement de l'arc les repousse à nouveau en les aplatissant brusquement. La forme qu'affectent ces protubérances incandescentes est très variable, les figures 2 à 5 en montrent quelques échantillons caractéristiques.

On obtient ainsi un arc alternatif intermittent qui dure généralement une seconde ou deux, tandis que la croissance du champignon prend de trois à cinq secondes. Si la température des électrodes tombe au-dessous d'une certaine limite, la croissance cesse. Il est donc nécessaire de maintenir les électrodes à une certaine distance minima qui ne doit toutefois être trop petite parce qu'il se formerait alors un pont métallique continu qui troublerait le phénomène. Bien réglé, l'arc peut s'éteindre et se rétablir plus de 30 fois successivement sans qu'il soit nécessaire de faire avancer les crayons.

Aucun effet de ce genre ne se produit quand on enlève le jet d'hydrogène. Dans ce cas, les extrémités incandescentes des crayons ne manifestent aucune tendance à se rapprocher l'une de l'autre. Le phénomène dépend donc du fait d'une atmosphère d'hydrogène incandescent entourant les bouts des crayons. Le gaz d'éclairage donne des effets analogues, mais le réglage est beaucoup plus difficile.

Les tiges de fer employées dans ces expériences avaient environ 11 mm de diamètre, l'arc avait de 3 à 5 mm de longueur et absorbait un courant de 16 ampères sous une différence de potentiel d'environ 30 volts. Le courant était fourni par un alternateur Pyke et Harris dont la force électromotrice avait une valeur maxima de 350 volts.

Si l'on ouvre le circuit immédiatement après l'extinction de l'arc, les extrémités incandescentes des crayons continuent à se rapprocher l'une de l'autre, de sorte que le phénomène ne semble pas dépendre de la faible action électrostatique qui s'exerce entre elles. Après refroidissement, les croûtes formées se présentent comme des masses très poreuses, montrant que le champignon est constitué par une sorte d'écume incandescente emprisonnant des bulles de gaz. L'aplatissement brusque de la protubérance paraît correspondre à une liquéfaction de l'écume sous l'influence d'une production locale de chaleur.

Le phénomène peut également être reproduit avec des électrodes de cuivre, mais les extinctions sont beaucoup plus fréquentes, les intervalles étant inférieures à une seconde. De plus, en raison de la grande conductivité du métal le refroidissement des crayons est si rapide qu'il est difficile d'obtenir plus de 4 à 5 extinctions et rétablissements successifs de l'arc. Ces expériences ont été faites avec l'assistance de M. Johnston à l'University College de Liverpool. A. H

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Phasemètres des tangentes ;

Par Riccardo Arno (¹).

Soient I_1 et I_2 les intensités efficaces de deux courants alternatifs sinusoïdaux et soit φ la valeur angulaire de leur différence de phase.

Si on fait passer respectivement ces deux courants dans les bobines, fixe et mobile, d'un électrodynamomètre, la déviation α satisfait à la relation

$$I_1 I_2 \cos\varphi = K'\alpha, \qquad (1)$$

K′ étant une constante.

(¹) *L'Elettricista*, t. VI, p. 109, mai 1897. — *Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino*, t. XXXII, p. 3.

Si on fait passer ces mêmes courants respectivement à travers les deux bobines inductrices d'un appareil à champ Ferraris, la déviation β qu'éprouve la bobine induite sous l'action du champ satisfait à la relation

$$I_1 I_2 \sin \varphi = K'' \beta, \tag{2}$$

K″ étant une autre constante.

Divisant membre à membre les deux relations précédentes, il vient

$$\tang \varphi = \frac{K''}{K'} \frac{\beta}{\alpha},$$

ou en désignant par K le rapport des deux constantes et par δ celui des deux déviations:

$$\tang \varphi = K\delta.$$

Par conséquent on peut, par l'emploi d'un électrodynamomètre et d'un appareil à champ Ferraris, trouver la valeur de la tangente de l'angle de différence de phase de deux courants sinusoïdaux quelles que soient les valeurs des intensités efficaces de ces courants. Les deux bobines de l'électrodynamomètre pouvant elles-mêmes constituer les bobines inductrices d'un appareil à champ Ferraris, on conçoit que les deux instruments puissent être réunis en un seul; la disposition que représente schématiquement la figure 1 permet cette réunion.

Les deux courants dont on veut mesurer la différence de phase traversent respectivement les deux cadres A_1 et A_2, dont l'un A_1 est fixe et dont l'autre A_2 est libre de tourner autour de l'axe vertical de l'instrument et porte un index I mobile sur un cercle divisé D. Au moyen d'un bouton mobile sur D et auquel est soudé un index I′, on peut agir sur le ressort *m* fixé en M et auquel est fixé le cadre A_2 et ramener ainsi au zéro l'index I quand celui-ci, par l'action des courants, s'est déplacé de sa position de repos. A l'intérieur des deux cadres A_1 et A_2 se trouve un circuit C, constitué par deux spires croisées à angle droit ou plus généralement par plusieurs spires enroulées régulièrement dans des plans rectangulaires et qui peut être à volonté fermé ou ouvert. Ce circuit peut, comme le cadre A_2, tourner autour d'un axe vertical et est muni d'un index *i* mobile sur un arc divisé *g*. Dans ce but il est attaché à un ressort *n* fixé en N qui sert en outre à ramener l'index au zéro par le moyen d'un bouton placé au-dessus du disque gradué *d*

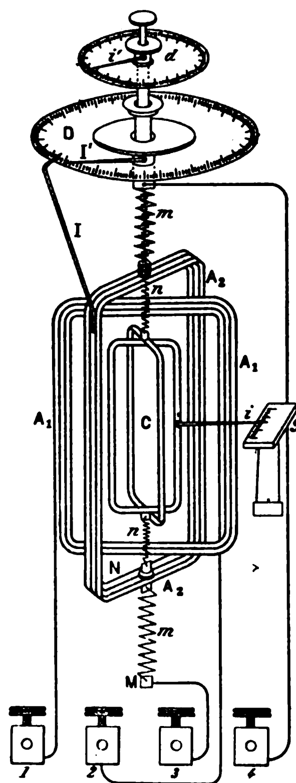


Fig. 1. — Phasemètre des tangentes R. Arno.

et muni d'un index *i*′. Les deux bornes 1 et 2 sont respectivement reliées aux extrémités du fil du cadre A_1, les bornes 3 et 4 à celles du cadre mobile A_2 par l'intermédiaire des ressorts *m*; enfin deux plots métalliques non visibles sur la figure sont reliées aux extrémités du circuit C par l'intermédiaire des ressorts *n*; entre ces plots peut être placée une cheville permettant d'ouvrir ou de fermer ce circuit.

Pour se servir de l'appareil on commence par ouvrir le circuit C en retirant la cheville et on fait passer dans les deux cadres A_1 et A_2 les deux courants alternatifs. L'instrument fonctionne alors comme un électrody-

namomètre ordinaire puisque C, tout en étant le siège de forces électromotrices induites, n'est traversé par aucun courant. On ramène l'index I du cadre mobile A_2 au zéro au moyen du bouton auquel est fixé l'index I' et on lit l'angle α dont ce dernier index s'est déplacé sur le disque D.

Cela fait, on fixe le cadre A_2 dans le plan vertical perpendiculaire au plan du cadre A_1 (plan dans lequel il se trouve déjà puisqu'on a ramené l'index I à sa position initiale) et l'on ferme le circuit C au moyen de la cheville. L'instrument fonctionne alors comme un appareil à champ tournant de Ferraris puisque en C est engendré un courant induit sur lequel agit le champ Ferraris produit par les deux courants étudiés. On ramène au zéro l'index *i* du circuit C en faisant tourner sur le disque *d* le bouton auquel est fixé l'index *i'* et on lit l'angle β dont il a fallu tourner ce dernier index.

Il ne reste plus alors qu'à prendre le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$ des deux déviations et à multiplier ce rapport par la constante K de l'instrument pour obtenir la tangente de la différence de phase des deux courants sinusoïdaux étudiés. L'instrument mérite donc bien le nom de *phasemètre des tangentes* qui lui a été donné.

Cet instrument peut évidemment servir aussi comme électrodynamomètre ordinaire. Pour cela il suffit d'ouvrir le circuit C, de réunir entre elles les bornes 2 et 3 et d'intercaler l'appareil, au moyen des bornes 1 et 4, dans le circuit du courant dont on veut mesurer l'intensité efficace.

L'instrument comporte donc la détermination de deux constantes, l'une relative à son emploi comme phasemètre, l'autre à son emploi comme électrodynamomètre, et ces deux constantes connues, il peut servir à déterminer directement l'intensité efficace d'un courant sinusoïdal et la valeur angulaire de la différence de phase de deux courants sinusoïdaux.

On peut aussi, en formant les cadres A_1 et A_2 de fils longs et fins (cadres de voltmètres), obtenir directement la force électromotrice efficace d'un courant sinusoïdal et la valeur angulaire de la différence de phase de deux forces électromotrices sinusoïdales.

Enfin si l'un des cadres A_1 et A_2 est formé d'un fil long et fin et l'autre d'un fil gros et court, l'instrument peut fonctionner comme wattmètre ou servir à mesurer la différence de phase existant entre une différence de potentiel et une intensité de courant; il peut alors donner les watts réels et les watts apparents. J. R.

Pont de Wheatstone avec courants alternatifs.

Par A.-C. CREHORE et G.-O. SQUIER [1].

Les auteurs recherchent graphiquement les conditions d'équilibre d'un pont de Wheatstone parcouru par des courants alternatifs sinusoïdaux et dans le cas le plus général, c'est-à-dire celui où chacun des six circuits formé par le pont est inductif.

Appelons $R_1 R_2 \ldots R_6$ les résistances de ces six branches (fig. 1) et $L_1 L_2 \ldots L_6$ leurs coefficients de self-induction. Lorsque le pont est en équilibre, aucun courant ne doit traverser

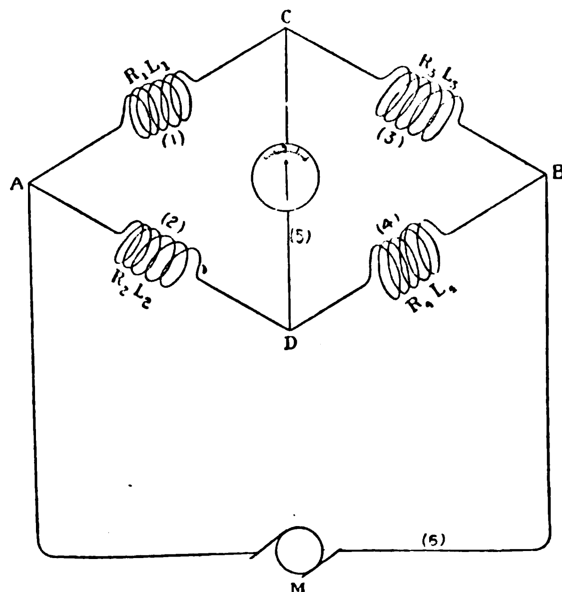


Fig. 1. — Schéma du pont du Wheatstone.

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLIII, p. 161-173, mars 1897.

le circuit 5, CD; on peut donc déjà supposer que ce circuit n'existe pas et désigner par $I_{1,3}$ le courant traversant le circuit ACB et $I_{2,4}$ celui traversant les branches AD et DB.

La construction graphique des différences des potentiels entre A et C, A et B, A et D et DB est des plus simples. Occupons-nous d'abord des deux premières; soit OA (fig. 2) la

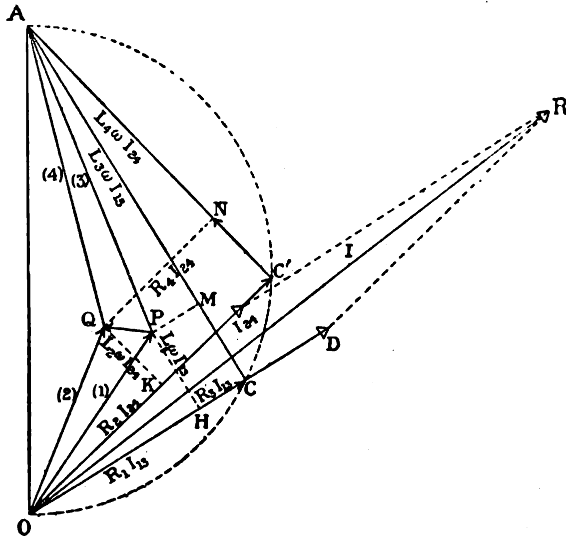


Fig. 2. — Représentation graphique des éléments du pont de Wheatstone montrant la condition d'équilibre.

tension entre AB, construisons le triangle rectangle AOC tel que :

$$\text{tang. AOC} = \text{tang. } \theta_{1,3} = \frac{\omega\,(L_1 + L_3)}{R_1 + R_3}$$

et partageons d'une part OC proportionnellement à R_1 et R_3 et d'autre part AC proportionnellement à L_1 et L_3. Menons ensuite par les points ainsi obtenus des parallèle respectivement à AC et OC, puis joignons le point de rencontre P aux points A et O, on reconnaît facilement que OP représente les différences de potentiel aux bornes A et C du circuit (1) et PA celles aux bornes C et B du circuit D.

Répétons la même construction pour la dérivation ADB; nous obtiendrons en OQ la différence de potentiel entre A et D et en QA celle entre D et B.

Pour qu'aucun courant ne traverse la branche (5) du galvanomètre, il faut évidemment que le potentiel soit le même entre les points C et D, de la figure 1, c'est-à-dire que la différence géométrique PQ des tensions OQ et OP soit nulle, autrement dit que les points P et Q coïncident.

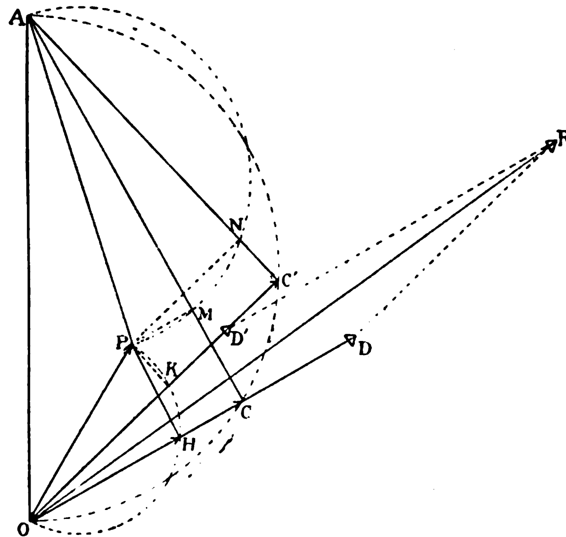


Fig. 3. — Représentation graphique des éléments du pont de Wheatstone dans le cas où il ne passe aucun courant dans le galvanomètre.

Supposons donc (fig. 3) qu'il en soit ainsi; nous aurons :

$$\overline{OP}^2 = \overline{OH}^2 + \overline{HP}^2 = \overline{OK}^2 + \overline{KP}^2,$$

ou :

$$I^2_{1,3}\,(R_1^2 + \omega^2 L_1^2) = I^2_{2,4}\,(R_2^2 + \omega^2 L_2^2\,; \qquad (1)$$

et :

$$\overline{PA}^2 = \overline{PM}^2 + \overline{MA}^2 = \overline{PN}^2 + \overline{NA}^2,$$

ou :

$$I^2_{1,3}\,(R_1^2 + \omega^2 L_3^2) = I^2_{2,4}\,(R_4^2 + \omega^2 L_4^2). \qquad (2)$$

De ces équations on déduit en divisant membre à membre :

$$\frac{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}{R_3^2 + \omega^2 L_3^2} = \frac{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}{R_4^2 + \omega^2 L_4^2},$$

ou en désignant par J l'impédance $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$:

$$\frac{J_1}{J_3} = \frac{J_2}{J_4}. \qquad (3)$$

Ainsi donc : la condition d'équilibre d'un

pont de Wheatstone dont les branches présentent la self-induction et sont parcourues par des courants sinusoïdaux est que les produits des impédances des branches opposées soient égaux ; elle est donc analogue à la condition pour des courants continus.

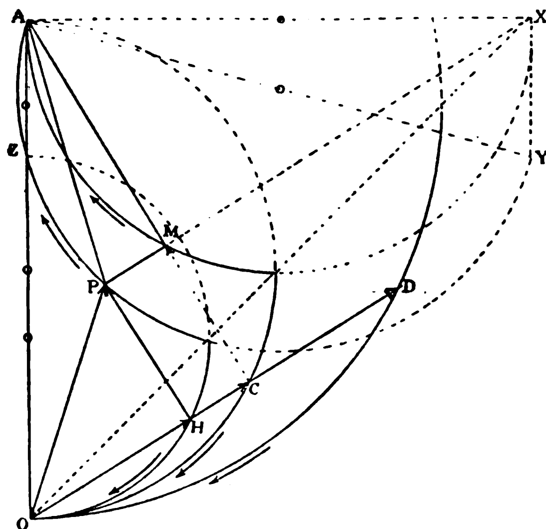


Fig. 4. — Diagramme dans le cas du maximum de sensibilité, $L_1 = L_2$. $R_1 = R_2$.

De ce que les triangles AOC et AOC′ sont inscrits dans le même demi-cercle on peut écrire :

$$\overline{OA}^2 = \overline{OC}^2 + \overline{CA}^2 = \overline{OC'}^2 + \overline{C'A}^2$$

ou :

$$\begin{aligned} E^2 &= I^2_{1,3}\,[(R_1 + R_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_3)^2] \\ &= I^2_{2,4}\,[(R_2 + R_4)^2 + \omega^2 (L_2 + L_4)^2]. \end{aligned} \qquad (4)$$

Si nous ajoutons membres à membres (1) et (2) et si nous retranchons la somme également membres à membres de (4), nous aurons :

$$\frac{I^2_{1,3}}{I^2_{2,4}} = \frac{R_2R_4 + \omega^2 L_2L_4}{R_1R_3 + \omega^2 L_1L_3}$$

d'où finalement, en comparant avec (2)

$$\frac{I^2_{1,3}}{I^2_{2,4}} = \frac{J^2_2}{J^2_1} = \frac{J^2_4}{J^2_3} = \frac{R_2R_4 + \omega^2 L_2L_4}{R_1R_3 + \omega^2 L_1L_3}.$$

Ces relations, qui permettent de discuter le problème dans sa généralité, une fois établies, les auteurs discutent graphiquement un cas particulier intéressant l'étude des variations de l'inductance d'une des branches lorsqu'on fait varie celle d'une autre branche, l'équilibre restant toujours établi et toutes les autres quantités restant constantes.

On sait que si, dans les relations précédentes, on fait $R_1 = R_2$, L_1 et L_2, elles sont satisfaites lorsque l'on a $R_3 = R_4$ et $L_3 = L_4$, la vérification graphique de cette propriété est des plus simples. En effet, si nous nous reportons à la figure 3, on voit que les angles POK et POH dont les tangentes sont $\frac{\omega L_1}{R_1}$ et $\frac{\omega L_2}{R_2}$ étant égaux, les points H et K coïncident et il en est par suite de même de C et C′ et de N et de M ; de plus, les courants étant maintenant les mêmes dans les deux circuits, on voit qu'on a à la fois $R_3 = R_4$ et $L_3 = L_4$.

MM. Crehore et Squier donne finalement le diagramme des variations des différents éléments de la figure lorsque, laissant $L_1 = L_2$, $R_1 = R_2$, on fait varier l'inductance L_1. Les lieux des points P, H, C, M et de l'extrémité du vecteur OD sont des portions de cercle (fig. 4), ainsi qu'il est facile de l'établir.

F. G.

Capacité de polarisation;

Par C. M. Gordon [1].

La cuve Z dont on veut mesurer la polarisation est intercalée dans la branche 2 d'un réseau de Wheatstone (fig. 1), dans la branche 1 se trouvent un condensateur et un rhéostat électrolytique W, les branches 3 et 4 sont formées par les deux parties d'un fil à curseur A B, sur le pont se trouvent le téléphone T et un condensateur *c′*, celui-ci, pour empêcher les courants continus qui se produiraient quand la polarisation a atteint une certaine valeur. En D est placée la bobine d'induction, munie soit d'un interrupteur à marteau, soit d'un interrupteur à corde vibrante de Nernst. Si on désigne respective-

(1) *Wied Ann.*, t. LXI, p. 1-29.

ment par r_1, r_2, r_3, r_4 les résistances des quatre branches c_1 et c_2 les capacités des branches 1 et 2, les conditions d'équilibre du pont sont comme on le sait :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} = \frac{c_2}{c_1}. \qquad (1)$$

La capacité de comparaison c_1 est celle d'un condensateur à lame de paraffine, et a été comparée à celle d'un condensateur à

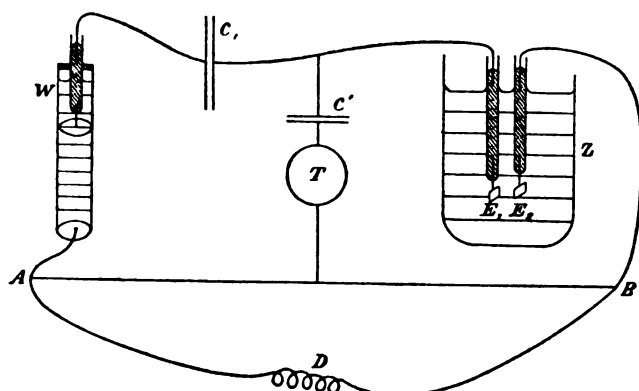


Fig. 1 — Dispositif employé par M. Gordon pour la mesure des capacités de polarisation.

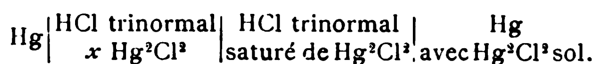
lame d'air; le minimum du téléphone est toujours net, ce qui prouve que, pour les oscillations rapides employées, la capacité du condensateur à paraffine ne dépend pas de la fréquence.

L'auteur a vérifié d'abord que les conditions (1) correspondent bien au minimum du téléphone; il a recherché ensuite quelle était l'influence de la densité et de la fréquence du courant. Il faut remarquer en premier lieu que la méthode n'est applicable que pour les densités de courant très faibles; autrement on n'obtient pas de bon minimum et en même temps la capacité apparente augmente de valeur. Mais au-dessous d'une certaine limite de la densité, la capacité demeure constante, au sens de la théorie de Kohlrausch, et ne dépend plus que de l'électrode et de la solution. Cette limite est d'environ 0,0022 à 0,0025 ampère par cm^2, pour des électrodes de mercure dans l'acide sulfurique étendu, 0,016 à 0,018 pour des électrodes en platine platiné. Avec les fréquences employées, 5 à 10000 par seconde, la capacité est indépendante de la fréquence.

Électrodes de mercure. — L'une des électrodes est une large surface de mercure, l'autre est contenue dans un tube capillaire qui avait en général 0,15 cm de diamètre.

Dans les solutions de chlorure de potassium et d'acide chlorhydrique dont la teneur est de 0,1 à 1 fois la teneur normale, il se forme sur les électrodes une couche de calomel insoluble, et il est impossible d'obtenir des résultats réguliers. Cette formation de calomel n'a pas lieu dans les solutions plus concentrées, bi-ou trinormales et la capacité ne décroît plus progressivement comme dans les autres solutions.

En ajoutant à l'électrolyte une certaine quantité d'une solution saturée de calomel dans l'acide chlorhydrique, on peut étudier l'influence sur la capacité de polarisation de la concentration des ions de mercure. Pour déterminer la quantité de mercure contenue dans ces mélanges, on mesure la différence de potentiel qu'ils présentent avec le mercure, autrement dit la force électromotrice d'une pile ainsi constituée :


Hg | HCl trinormal x Hg^2Cl^2 | HCl trinormal saturé de Hg^2Cl^2. | Hg avec Hg^2Cl^2 sol.

Le rapport des concentrations C_1 à C_2 est donné par la formule :

$$E_1 - E_2 = RT \log \text{nép.} \frac{C_2}{C_1}$$

E_1 et E_2 étant les forces électromotrices de deux semblables piles.

On vérifie ainsi que la capacité de polarisation varie proportionnellement à la concentration des ions de mercure.

Dans une solution d'acide sulfurique qui renferme du sulfate mercureux, la capacité croît également avec la concentration des ions de mercure, d'abord plus lentement que la concentration et au voisinage de la saturation à peu près proportionnellement.

Électrodes de platine platiné. — La capacité des électrodes de platine platiné varie beaucoup avec les traitements antérieurs qu'elles ont subi. Lorsqu'elles sont plongées dans l'électrolyte, la capacité décroît d'abord rapidement, ensuite plus lentement. Qu'elles soient polarisées par l'hydrogène ou par l'oxygène, la variation apparaît déjà pour des forces électromotrices bien inférieures à la force électromotrice de décomposition de l'électrolyte ; cette variation dépend surtout des électrodes elles-mêmes plutôt que de la solution, car on observe à peine un changement quand on les transporte dans un autre vase.

Dans la polarisation par l'oxygène, on remarque déjà un accroissement de la force électromotrice de polarisation, pour une force électromotrice polarisante de 0,2 volt. Pour des forces polarisantes plus grandes, la capacité croît et atteint un maximum vers 0,5 volt, qui correspond sans doute à la sursaturation de l'électrode par l'oxygène.

Dans le cas de la polarisation par l'hydrogène, la capacité commence par décroître très rapidement et ensuite plus lentement : la valeur maximum est très grande (50 fois la valeur primitive avec des électrodes de 0,06 cm^2). De très petites électrodes (0,0016 cm^2) après avoir été saturées d'hydrogène, se comportent, pour ainsi dire, comme des électrodes impolarisables : elles permettent d'obtenir un bon minimum, même sans le condensateur de compensation c_1, dans de l'acide sulfurique à 30 p. 100.

La quantité d'oxygène ou d'hydrogène dissous dans l'électrolyte a très peu d'influence sur la valeur de la capacité; on trouve les mêmes valeurs à quelques p. 100 près, quand on amène un courant d'hydrogène au voisinage de l'électrode, ou qu'on ajoute à l'électrolyte de l'eau oxygénée. Mais la capacité varie notablement avec la concentration de l'électrolyte et croît avec cette concentration.

Électrodes de platine poli. — Avec les électrodes de platine poli, les mesures sont plus difficiles; la capacité est beaucoup plus petite que celle des électrodes platinées, mais varie à peu près suivant les mêmes lois.

Théorie. — Si on considère une cuve électrolytique polarisée comme une pile de concentration, la force électromotrice sera, d'après la théorie de Nernst :

$$E = E_1 - E_2 = RT\left(\text{log nép}\,\frac{P}{p_1} - \text{log nép}\,\frac{P}{p_2}\right)$$
$$= RT\ \text{log nép}\,\frac{p_2}{p_1}$$

P étant la tension de dissolution du métal, p_1, p_2 sa pression osmotique dans la dissolution. Quand la cuve n'est pas polarisée, $p_1 = p_2$ et $E = 0$. Quand le courant a passé à travers la cuve, du métal s'est précipité à la cathode du métal s'est dissous à l'anode ; p_1 n'est plus égal à p_2, et

$$E = RT\,\text{log nép}\,\frac{p_2}{p_1}$$

Cette manière de voir n'est pas du reste contradictoire avec l'idée de la couche double, puisque l'existence de la différence de potentiel entraîne celle d'une couche double.

De la relation

$$E = RT\ \text{log nép}\,\frac{C}{c}$$

on tire par différenciation :

$$\frac{dE}{dc} = -\frac{RT}{c}.$$

La variation dc peut servir de mesure à la quantité d'électricité qui a traversé la cuve : $\frac{dc}{dE}$ sera la capacité de polarisation et est proportionnel à la concentration. Cette proportionnalité se vérifie comme nous l'avons vu plus haut. D'autre part la capacité ne peut dépendre uniquement de la concentration, car elle serait alors inversement proportionnelle au carré de la fréquence (Warburg) : cette conséquence ne se vérifie pas expérimentalement pour les hautes fréquences. Il en résulterait aussi que la capacité serait plus grande dans l'acide sulfurique que dans les chlorures : c'est le contraire qui a lieu.

Dans le cas du platine, il faut attribuer la polarisation aux variations de la tension de dissolution P, c'est-à-dire au gaz occlus dans le métal, ce qui expliquerait l'accroissement considérable qu'éprouve la capacité.

Mesures de résistance. — Si la cuve polarisée est analogue à un condensateur, l'appareil, tel qu'il a été décrit, peut servir aussi à des mesures de résistance. Au lieu d'un condensateur métallique à capacité variable, on emploie une cuve à polarisation variable, qu'il est plus facile de réaliser : cette cuve renferme de l'acide sulfurique concentré dans lequel on peut placer à des distances variables deux électrodes de platine, mastiquées sur des lames de verre. On calcule la résistance de cette cuve d'après ses dimensions et la conductibilité de l'acide et on ajoute cette résistance à celle de la boîte.

Avec les électrodes de platine poli, la résistance croît avec la polarisation : l'augmentation est moindre, mais encore évidente, quand les électrodes ont été portées préalablement au rouge. Avec les électrodes platinées, on n'observe pas de variations autres que celles provenant de l'incertitude des lectures. Cette différence tient sans doute à la grande différence de polarisation entre les électrodes platinées et non platinées. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Manuel de Téléphonie, par Maurice GILLET. — Un vol. in-8° de 327 pages, 252 figures, *Vve Ch. Dunod et P. Vicq*, éditeurs.

Cet ouvrage condense sous une forme élémentaire les principales connaissances nécessaires à la compréhension du fonctionnement du téléphone et des installations téléphoniques. Plusieurs chapitres sont consacrés à l'exposé des notions théoriques indispensables, les autres forment la partie descriptive.

On ne saurait demander à la partie théorique d'un ouvrage de ce genre autre chose qu'un rappel de principes ; mais encore faut-il qu'à défaut de longues explications le lecteur puisse avoir toute confiance dans l'énoncé des notions fondamentales. L'ouvrage présente à ce point de vue quelques parties critiquables. Nous relevons, p. 78, une application fausse de la règle d'Ampère. Même erreur du + au — dans la description, p. 88, d'une expérience relative à l'extra-courant de self-induction. L'explication du rôle des condensateurs, p. 94, et de celui de la bobine d'induction, p. 172, manque également d'exactitude. Dans les premières pages, les phénomènes d'acoustique sont, par contre, bien présentés.

L'auteur fait usage, en différents passages de l'exposé préliminaire, de théories personnelles qui ne manquent pas d'originalité, mais ne convaincront pas la majorité des lecteurs.

Les chapitres descriptifs, qui constituent en somme la partie principale de l'ouvrage, contiennent sous forme condensée, mais nette, la description de l'appareillage téléphonique accompagnée de figures très claires. Ils traitent successivement les sujets suivants : téléphones mécaniques, téléphones magnétiques, appels, etc., montage des postes, dérangements, applications du téléphone ; microphone, appareils accessoires, montage des postes, dérangements, applications ; construction des lignes, télégraphie et téléphonie simultanées, photophonie, phonographie.

Abstraction faite d'une erreur de calcul, p. 26, et de l'assertion que le poste d'une employée de bureau central se compose de deux téléphones, l'un transmetteur, l'autre récepteur, p. 118, cette partie sera utile à consulter pour le personnel chargé des installations téléphoniques, lequel ne se préoccupe pas de rechercher si l'étymologie de *jack-knife* donnée par l'auteur : *knife*, couteau, *Jack*, nom de l'inventeur, est bien la vraie ; avec le *spring-jack*, de même origine, ce M. Jack finira par atteindre à la célébrité de M. Trolley, inventeur du *trolley-car*.

La façon attrayante d'exposer par laquelle maintes pages de ce manuel plairont aux lecteurs nous fait souhaiter qu'un prompt épuisement de la première édition permette à l'auteur d'en soumettre quelques parties à une revision qui en fasse disparaître les défauts d'homogénéité. A. HESS.

Electricitaet direkt aus Kohle. (L'électricité tirée directement du charbon), par Étienne de Fodor. — Un vol. in-8° de 306 pages, 67 figures, de l'*Elektrotechnische Bibliothek*. — *A. Hartleben*, éditeur, Vienne.

On ne fera pas à cette compilation le reproche d'être incomplète, elle pèche plutôt par excès contraire. Si, en effet, ce petit ouvrage remonte jusqu'aux essais intéressants de Brugnatelli, au commencement du siècle, pour employer le charbon comme électrode soluble dans les piles, il nous remémore d'autre part avec beaucoup trop de détails l'histoire de l'application du charbon comme électrode positive. Ceci est évidemment en dehors du sujet.

En s'en tenant strictement au titre, on ne s'attendrait pas non plus à trouver dans ce livre l'exposé de la thermo-électricité, de la pyro-électricité et des expériences thermomagnétiques. Même la machine électrique d'Armstrong à jet de vapeur paraît ici hors de propos. Un sous-titre : Transformation directe de la chaleur en énergie électrique, avertirait utilement de l'importance donnée à cette partie qui forme un tiers de l'ouvrage.

Les acquisitions les plus importantes sur ces deux domaines sont d'ailleurs dûment exposées Il est parlé, avec le développement qu'ils comportent, des indications d'Ostwald et des essais de Borchers et d'autres sur la combustion froide et électromotrice du charbon, de même que des considérations modernes sur le rendement des piles thermo-électriques. Les références bibliographiques étant également très complètes, il est certain que cet ouvrage, publié à un moment où ces problèmes suscitent un nouvel intérêt, sera utile à tous ceux qui s'intéressent à ces recherches.

A. Hess.

CHRONIQUE

Nouveau règlement du Fire-Office concernant les installations électriques. — Notre confrère *The Electrician*, de Londres, nous apprend qu'à la suite d'une nouvelle enquête faite par une commission spéciale composée d'ingénieurs experts, l'administration du Fire-Office vient de remanier son règlement concernant les installations électriques dans les ateliers de tissage, les moulins et les raffineries d'huiles inflammables.

D'après le nouveau règlement, tout moteur placé en dehors de la salle des machines devra, ainsi que les rhéostats qui l'accompagnent, être entièrement recouvert d'une enveloppe incombustible faisant corps avec le bâti, ne laissant passer au dehors que l'arbre qui porte la poulie de transmission et les conducteurs qu'un supplément d'isolement devra garantir des court-circuits. Des portes munies de regards vitrés pourront être ménagées dans ces enveloppes en face des organes à surveiller ou à inspecter. Les appareils ainsi renfermés devront être construits pour fonctionner sans ventilation, ou du moins sans être ventilés au moyen d'air pris dans la salle.

Ces mesures de protection s'appliquent également aux dynamos isolées.

Chaque moteur ou dynamo devra être pourvu de commutateurs bipolaires et chacun des deux conducteurs sera pourvu d'un plomb fusible à couvercle incombustible.

Les commutateurs devront être d'une construction telle qu'ils ne puissent demeurer dans une position intermédiaire entre celle d'ouverture et celle de fermeture, ni donner naissance à des arcs de rupture.

En ce qui concerne l'alimentation des moteurs, le retour du courant s'effectuera toujours à l'aide d'un conducteur et en aucun cas par la terre.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 18 Septembre 1897 4e Année. — N° 38.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR LES UNITÉS MAGNÉTIQUES

I. — Nous avont été amené récemment à regretter la confusion qu'introduisaient dans l'enseignement de la théorie du magnétisme la suppression pure et simple du *pouvoir inducteur magnétique* et l'obligation qui en résulte de faire intervenir dans certains phénomènes la *perméabilité magnétique*, sans que cette intervention paraisse toujours naturelle.

Cette suite d'idées nous a rappelé la discussion qui a eu lieu l'an dernier au congrès de Genève, et, en relisant la relation qu'en a donné *L'Éclairage Électrique* en son numéro du 22 août 1896, ainsi qu'une note subséquente de M. Blondel parue dans le numéro du 19 septembre 1896 du même recueil, il nous a semblé reconnaître un certain flottement dans les idées de plusieurs des hommes de haute valeur qui s'occupent plus particulièrement de cette question.

Citons seulement les trois extraits suivants :

« Dans le système électromagnétique, le » *champ magnétique* et l'*induction magnétique* ont pour relation

$$B = \mu H,$$

avec l'hypothèse fondamentale que μ est un nombre abstrait, un simple rapport numérique. Tant que l'on n'aura pas déterminé les dimensions absolues de la perméabilité magnétique en fonction de L, de M, et de T, il sera logique et rationnel de mesurer H et B en se servant de la même unité. » (Rapport de M. Hospitalier).

Dans la discussion du rapport, on lit :

« M. Ferraris s'oppose à l'adoption de ces conclusions... Il critique les noms de savants choisis par le rapporteur et surtout la proposition de donner un même nom aux unités de deux grandeurs différentes, l'intensité du champ et l'induction magnétique. »

Enfin, dans sa note subséquente, M. Blondel dit « j'évite la confusion entre H et B qu'on ne fait plus du reste en Amérique depuis un an. »

Il semble bien resulter de ces extraits qu'un certain nombre de savants, dont le nom fait autorité dans la matière, paraissent considérer que l'induction et l'intensité du champ sont deux quantités distinctes qui ne s'expriment au moyen des mêmes unités que dans le système électromagnétique.

Il y a là, nous semble-t-il, une confusion grave qu'il importe de dissiper, car la première nécessité pour faire choix d'un système d'unités est de savoir exactement quelle est la nature des grandeurs en jeu.

Il faut bien reconnaître d'ailleurs que la responsabilité de cette confusion est en grande

partie imputable à Maxwell. Sans vouloir diminuer en rien la haute importance de l'œuvre de ce savant, qui constitue une étape dans la marche de la science, il faut bien avouer que, s'il a reconnu l'existence du *pouvoir inducteur magnétique*, il ne l'a fait en quelque sorte qu'après coup. Toute sa théorie du magnétisme, où a été prise la définition de l'*induction magnétique* est faite dans l'hypothèse, d'autant plus grave qu'elle est implicite, que le *pouvoir inducteur magnétique* de toutes les substances *diamagnétiques* est égal à l'unité. Il semble que ce soit cette théorie qui règne encore dans l'enseignement industriel du magnétisme, malgré les erreurs qu'elle entraîne et les confusions entre l'*induction magnétique* et l'*aimantation induite* qu'elle amène chez les meilleurs esprits.

Il nous paraît donc utile de reprendre brièvement les principes fondamentaux de la théorie du magnétisme, en suivant l'ordre adopté par M. Vaschy dans son *Traité d'Électricité et de Magnétisme* parce que cette exposition, d'une parfaite correction, a l'avantage de suivre pas à pas, en l'élaguant de nombreuses inutilités, celle de Maxwell qui est encore généralement adoptée.

II. — La base de la théorie du magnétisme repose sur l'existence de *quantités de magnétisme* répandues dans certains corps et susceptibles de reproduire des effets mécaniques.

Il est facile de démontrer que quelle que soit la nature réelle du magnétisme, il est toujours possible de trouver une distribution de ces quantités de magnétisme ou pôles magnétiques qui reproduise exactement les phénomènes en jeu. Par conséquent, bien que nous soyons à peu près certains de la non-existence de ces quantités de magnétisme, leur emploi donnera des résultats mathématiquement exacts et toute la théorie peut être faite correctement comme si elles avaient une existence réelle ; nous les désignerons par p.

Il résulte des expériences de Coulomb que deux pareilles quantités s'attirent ou se repoussent proportionnellement a leur produit et en raison inverse du carré de leur distance, ce qui peut s'écrire

$$f = \frac{1}{K} \frac{pp'}{r^2}. \qquad (1)$$

Dans cette formule f est la force, r la distance et $\frac{1}{K}$ le facteur de proportionnalité. Qu'est-ce que ce facteur ?

Si l'on refait la mesure de la force dans différents milieux, *air*, *perchlorure de fer*, etc., on trouve que la force f obtenue en maintenant p, p' et r constants varie avec le milieu

$$f' = \frac{1}{K'} \frac{pp'}{r^2}.$$

on a donc

$$fK = f'K' = \ldots = \text{constante}.$$

Il résulte immédiatement de là que K n'est pas une constante numérique, mais une quantité ayant des dimensions, et caractéristique du milieu dans lequel se propage l'action magnétique. On l'appelle *pouvoir inducteur spécifique magnétique* ou plus simplement *pouvoir inducteur magnétique*.

Au point de vue des dimensions, l'équation (1) peut s'écrire

$$KF = KLMT^{-2} = P^2L^{-2}$$

d'où

$$P = K^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}. \qquad (2)$$

La force de Coulomb est censée appliquée aux pôles magnétiques eux-mêmes et s'exercer suivant la ligne droite qui les joint. Mais si on introduit un très petit corps quelconque, qui auparavant ne présentait aucune trace de magnétisme, dans le voisinage des deux pôles magnétiques, en dehors de la ligne qui les joint, on voit qu'il est soumis à une force qui est en direction la résultante même des deux forces suivant la loi de Coulomb qui s'exerceraient entre ce petit corps et les deux pôles magnétiques p et p'. Ce petit corps présente donc les mêmes propriétés que s'il était devenu magnétique

et met ainsi en évidence que l'action des deux pôles magnétiques p et p' s'étend non seulement à la droite qui les joint, mais encore à tout l'espace environnant.

C'est ce qu'on exprime en disant que les pôles p et p' créent un *champ magnétique* en chaque point duquel s'exerce une *force magnétique* bien définie en intensité, direction et sens; c'est cette force qu'on appelle *intensité du champ* et qu'on désigne par la lettre H; ou peut soit la considérer en intensité seulement et l'exprimer par un nombre, soit la considérer dans ses trois caractères et en faire un vecteur. Mais il ne nous paraît pas utile d'écrire différemment la lettre H dans ces deux cas : la distinction se fait d'elle-même.

Supposons que nous écartions le pôle p' (supposé attiré par le pôle p) jusqu'à l'infini. Pour un déplacement dr l'énergie dépensée est

$$dW = -f dr = -\frac{1}{K}\frac{pp'dr}{r^2}$$

en intégrant nous aurons

$$W = \int_r^\infty -\frac{1}{K}\frac{pp'dr}{r^2} = -\frac{1}{K}\frac{pp'}{r}.$$

Si nous posons

$$W = -p'V$$

la fonction V sera définie par l'expression

$$V = \frac{1}{K}\frac{p}{r}.$$

cette propriété est générale, et, s'il y avait plusieurs pôles p_1 p_2 p_3..... le travail nécessaire pour amener la quantité p' à l'*infini*, ou, ce qui revient au même, *en dehors du champ*, serait

$$W = -p'V \qquad (3)$$

avec la condition

$$V = \frac{1}{K}\left(\frac{p_1}{r_1} + \frac{p_2}{r_2} + \frac{p_3}{r_3} + \ldots\right).$$

La fonction V est donc le travail à développer pour faire sortir du champ l'unité de quantité de magnétisme. Ses dimensions sont

$$W = VP^{-1} = K^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}. \qquad (4)$$

Cette fonction V sert à préciser la notion du champ magnétique.

Elle a en effet une valeur bien définie en tout point de l'espace. Faisons décrire (fig. 1) au pôle magnétique p' un déplace-

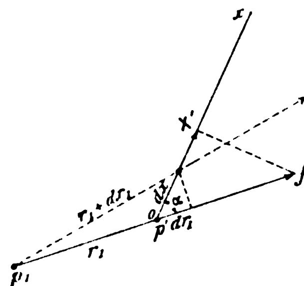


Fig. 1.

ment infiniment petit dx dans une direction quelconque ox faisant un angle α avec la force f.

Le travail développé sera par définition

$$dW = -f dx \cos\alpha = -X'dx$$

en désignant par X' la composante de f suivant ox.

Or on a

$$f = \frac{1}{K}\frac{p'p_1}{r_1^2}$$

et d'autre part, dx étant infiniment petit,

$$r_1 + dr_1 = r_1 + dx\cos\alpha$$

à un infiniment petit du second ordre près.

On aura par suite

$$dW = -\frac{1}{K}\frac{p'p_1}{r_1^2}dr_1 = -X'dx.$$

Il en sera de même pour tous les points magnétiques p_2, p_3... de sorte qu'on aura

$$dW = -\frac{1}{K}p'\left[\frac{p_1 dr_1}{r_1^2} + \frac{p_2 dr_2}{r_2^2} + \frac{p_3 dr_3}{r_3^2} + \ldots\right] = p'dV$$

On aura donc

$$X' = -p' \frac{dV}{dx}.$$

D'autre part, cette force X' qui s'exerce sur p' est proportionnelle, d'après la loi de Coulomb, d'une part à p', d'autre part à l'action des autres masses $p_1, p_2, p_3, \ldots$ Indépendamment de la valeur de p', on peut donc écrire

$$X' = p'X$$

formule dans laquelle X sera précisément la composante de *l'intensité* H *du champ* suivant *ox*, et on a

$$X = -\frac{dV}{dx}. \qquad (5)$$

On reconnaît immédiatement que V est la *fonction potentielle des forces magnétiques* qui s'exercent dans le champ, aussi lui a-t-on donné le nom abrégé de *potentiel magnétique*.

Les dimensions de l'intensité du champ seront

$$H = VL^{-1} = K^{-\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}. \qquad (6)$$

L'équation,

$$V = \text{constante}$$

définit une série de surfaces *équipotentielles*. Sur une telle surface, on a

$$dV = -Xdx = 0$$

par conséquent l'intensité du champ est normale aux surfaces équipotentielles. Si on considère les trajectoires orthogonales des surfaces équipotentielles, l'intensité du champ leur est tangente en chaque point. Comme cette intensité n'est autre que la *force magnétique* s'exerçant sur *l'unité de magnétisme* supposée placée en ce point, on a donné à ces trajectoires orthogonales le nom de *lignes de force;* on les appelle aussi *lignes d'induction*.

Supposons une surface S par tous les points du contour de laquelle nous traçons les lignes de force. Nous obtenons ainsi un *tube de force* ou *tube d'induction*.

Si *n* est la normale en un point à la surface équipotentielle, nous avons vu que

$$H = -\frac{dV}{dn}. \qquad (5')$$

La quantité

$$\int_s H\,ds = \int_s -\frac{dV}{dn}\,ds$$

a reçu le nom de *flux de force* et on démontre que dans toute l'étendue d'un tube de force qui reste dans un même milieu et ne contient pas de magnétisme libre, le flux de force est constant à travers toute section du tube.

Mais il n'en est pas de même si le tube contient du magnétisme libre, par exemple à la surface des corps magnétiques. On démontre dans ce cas que, si on désigne par *p* la quantité totale du magnétisme contenue dans le tube et par p' la quantité existant sur les deux bases de départ et d'arrivée du tube, on a

$$\int_s -\frac{K}{4\pi}\frac{dV}{dn}\,ds = p + \frac{1}{2}p'. \qquad (7)$$

On voit donc que la propriété de la conservation du flux s'applique non pas à la fonction $\int_s H\,ds$, mais bien à la fonction $\int_s K\,H\,ds$. Aussi est-ce cette dernière fonction, nommée le *flux d'induction* à travers la surface *s*, que l'on considère généralement au lieu du *flux de force*.

La formule de Coulomb ne s'applique plus lorsque les deux points magnétiques sont dans des milieux différents. Néanmoins la conservation du flux d'induction à travers toute section d'un tube qui ne contient pas de magnétisme libre est une propriété présentant un caractère d'une telle généralité qu'on admet qu'elle subsiste encore lorsqu'on passe d'un milieu dans un autre. Cette hypothèse n'est en contradiction avec aucun des résultats expérimentaux qui en découlent. Le *flux*

d'induction prend ainsi une grande importance. Ses dimensions sont

$$\Phi = \text{KHS} = \text{K}^{-\frac{1}{2}} \text{L}^{\frac{3}{2}} \text{M}^{\frac{1}{2}} \text{T}^{-1}. \quad (8)$$

Ces dimensions sont les mêmes que celles de la quantité de magnétisme, ce qui est évident d'après l'équation (7).

III. — Supposons qu'un tube d'induction, de section infiniment petite s, passe d'un milieu A dans un milieu A', la direction de l'axe du tube faisant à la surface de séparation des angles α et α' avec la normale n à cette surface (fig. 2).

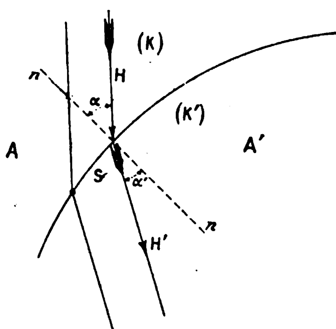


Fig. 2.

Les sections droites du tube dans les deux milieux seront $s \cos \alpha$ et $s \cos \alpha'$.

Le *flux d'induction* étant constant, puisque nous supposons qu'il n'y a pas de magnétisme libre à la surface de séparation, nous aurons

$$\text{KH}s \cos \alpha = \text{K'H'}s \cos \alpha'. \quad (9)$$

D'autre part, en raison de l'absence de magnétisme libre sur la surface de séparation, on doit admettre que la différence de potentiel entre les milieux A et A' sur cette surface est nulle ou tout au moins constante en tout point. Il en résulte d'abord que les directions de la force dans les deux milieux sont dans un même plan normal à la surface, et ensuite que la composante $-\frac{dV}{dx}$ de l'intensité du champ à la surface a la même valeur dans les deux milieux, ce qui peut s'écrire

$$\text{H} \sin \alpha = \text{H'} \sin \alpha'. \quad (10)$$

On déduit de ces deux équations

$$\frac{1}{\text{K}} \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\text{K'}} \operatorname{tg} \alpha',$$

ou

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\text{K'}}{\text{K}} \operatorname{tg} \alpha \quad (11)$$

ce qui définit l'*angle de la réfraction du tube*.

Pour simplifier l'écriture on pose

$$\frac{\text{K'}}{\text{K}} = \mu \quad (12)$$

en donnant à μ le nom de *perméabilité magnétique* du milieu A' par rapport au milieu A. La *perméabilité magnétique* est donc un simple rapport de deux valeurs d'une fonction, d'ailleurs inconnue, et par conséquent de *dimensions nulles*. On prend généralement comme milieu A de comparaison le vide, ou plus couramment l'air dont le pouvoir inducteur magnétique est très voisin de celui du vide.

La formule devient dès lors

$$\operatorname{tg} \alpha' = \mu \operatorname{tg} \alpha. \quad (11)$$

En général, μ est très voisin de l'unité et les angles d'incidence et de réfraction sont du même ordre. Cependant, pour certains corps, le fer par exemple, la *perméabilité magnétique* peut prendre des valeurs très élevées.

Si on suppose que μ atteigne la valeur 500, dès que α sera supérieur à 1°20' on aura

$$\alpha' > 89°.$$

Donc presque tous les tubes d'induction qui entreront dans le fer arriveront presque normalement à la surface.

Dans ce cas, où $\operatorname{tg} \alpha$ devient très petit par rapport à $\operatorname{tg} \alpha'$, on a également $\sin \alpha$ petit par rapport à $\sin \alpha'$ et par conséquent H' petit par rapport à H. C'est ce qu'on exprime en disant que les corps de haute perméabilité magnétique constituent des écrans magnétiques.

Considérons un cylindre de fer doux de surface notable placé dans un champ magnétique uniforme parallèle à son axe. Sur les

bords la présence du fer amènera une déviation des lignes de force, mais au centre elles resteront perpendiculaires à la base.

Si nous considérons un élément de cette base voisin du centre, l'intensité du champ dans le fer H et celle dans l'air H' au voisinage de cette surface seront reliées par la condition de continuité du flux d'induction, soit l'équation (9) où les angles d'incidence ou de réfraction sont nuls, ce qui donne

$$KHs = K'H's$$

d'où

$$H' = \frac{K}{K'} H = \mu H$$

et qui peut s'écrire

$$B = \mu H \qquad (13)$$

en désignant par B l'intensité du champ dans le voisinage du fer.

Cette quantité B a reçu de Maxwell le nom d'*induction magnétique* dans le fer par le raisonnement suivant.

Si on découpe dans le cylindre un disque d'air parallèle aux bases et d'épaisseur très faible par rapport à sa surface, l'intensité du champ dans cet air sera B, ainsi qu'on le démontre aisément. Maxwell en concluait qu'il existait dans le fer une induction égale à B, ce qui en réalité ne signifie rien.

B et H sont donc tout simplement l'une et l'autre l'*intensité du champ* dans l'air et dans le fer au voisinage immédiat de la surface de séparation. Ce sont seulement deux expressions d'une même fonction comme l'avait bien remarqué Lord Kelvin qui leur avait donné les dénominations respectives un peu longues de *définition électromagnétique de la force magnétique* et *définition polaire de la force magnétique*.

B et H ne sont pas des quantités distinctes; leurs dimensions absolues sont les mêmes et il serait impossible de leur attribuer des unités différentes, cela *en dehors de toute hypothèse sur la nature du pouvoir inducteur magnétique*.

IV. — Lorsqu'un corps A est plongé dans un milieu A', de l'air par exemple, où existe un champ magnétique, sa présence produit dans le voisinage le même effet que celle d'un aimant.

En effet pour un tube d'induction quelconque, le flux conserve sa valeur, ce qui s'écrit

$$4\pi p = KHs = K'H's'.$$

Rien ne sera chargé ni au potentiel, ni par suite à l'intensité du champ qui est $-\frac{dV}{dn}$, ni à la position des tubes de force dans les milieux A et A' si on suppose que le volume de A soit entièrement rempli par la substance A' à la seule condition que l'on répartisse sur la surface de séparation une couche de magnétisme facile à calculer.

Si en effet on remplace A par A', K sera remplacé par K' dans l'intérieur de A, et le flux d'induction deviendra

$$4\pi p' = K'HS = 4\pi \frac{p}{\mu}.$$

Donc pour que le flux d'induction se conserve, il faudra qu'il y ait à la surface de séparation une quantité de magnétisme égale à

$$p' - p = -p\left(1 - \frac{1}{\mu}\right).$$

Tout se passe dans le milieu A' exactement comme si la couche $p' - p$ *d'aimantation induite* existait réellement.

L'*intensité d'aimantation induite* sera dès lors

$$J = \frac{p' - p}{s} \cos \alpha$$

ce qui peut s'écrire, en tenant compte des relations précédemment établies et supposant que la surface de séparation soit une section équipotentielle.

$$J = \frac{K'(\mu - 1)}{4\pi} H = xH \qquad (14)$$

en posant

$$x = \frac{\mu - 1}{4\pi} K'$$

ou

$$\mu = 1 + 4\pi \frac{x}{K'}. \qquad (15)$$

Ce coefficient x qui a les mêmes dimensions que le pouvoir magnétique, a été nommé par Lord Kelvin *susceptibilité magnétique.*

Les dimensions de l'*intensité d'aimantation induite* sont

$$J = KH = K^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}.$$

Cette quantité est parfois confondue avec l'*induction* (notamment dans certaines mesures de perméabilité magnétique). Elles sont cependant essentiellement différentes, puisqu'elles n'ont pas les mêmes dimensions.

On appelle *feuillet magnétique* un système de deux surfaces infiniment voisines recouvertes de couches magnétiques égales et de signes contraires telles qu'en chaque point le produit de l'intensité d'aimantation J par la distance des deux surfaces ε soit constante, soit

$$J\varepsilon = R \qquad (16)$$

Cette constante R s'appelle la *puissance du feuillet.*

Ses dimensions sont

$$R = JL = K^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}. \qquad (17)$$

Le feuillet magnétique crée un champ magnétique tout autour de lui. On voit sans peine que le potentiel créé par l'élément $(+ J\,ds, - J\,ds)$ en un point où l'on voit l'élément de surface $(+ J\,ds)$ sous un angle solide $d\omega$ est

$$dV = \frac{1}{K} R\,d\omega.$$

Le potentiel créé en ce point par tout le feuillet est donc

$$V = \frac{1}{K} R\omega \qquad (18)$$

ω désignant l'angle solide dans lequel, du point considéré, on voit la *face positive* du feuillet.

Si nous considérons un tube de force allant de la face positive à la face négative du feuillet sans le traverser, la variation de l'angle solide est égale à 4π et par conséquent la variation du potentiel est

$$V - V' = \frac{4\pi R}{K} = \text{constante} = E. \qquad (19)$$

On peut donc dire que le feuillet magnétique est une surface sur laquelle existe un accroissement de potentiel brusque E, constant sur toute la surface, lorsque l'on passe d'une face dite négative, à l'autre, dite positive, sans traverser la surface.

Cette définition est plus générale que la précédente, puisque le pouvoir inducteur n'y intervient pas et qu'elle s'appliquerait par conséquent à un feuillet magnétique traversant différents milieux. Aussi a-t-on donné à la constante E le nom de *force magnétomotrice*, par comparaison avec les phénomènes électriques analogues. Les dimensions de la *force magnétomotrice* sont naturellement les mêmes que celles du *potentiel magnétique.*

V. — Une des manières les plus simples, et certainement celle qui a le plus d'applications dans l'industrie, de créer des phénomènes magnétiques est l'emploi du courant électrique.

La force qu'exerce un élément ds parcouru par un courant électrique d'intensité i sur un pôle d'aimant p situé à une distance r, la droite qui les joint faisant l'angle α avec la direction ds a été découverte par Laplace et peut s'écrire

$$f = \frac{pi\,ds \sin\alpha}{r^2}.$$

On déduit de là les dimensions de l'*intensité de courant électrique*

$$I = WP^{-1} = V. \qquad (20)$$

Les dimensions de l'*intensité de courant*

sont donc les mêmes, *en dehors de toute hypothèse*, que celle du potentiel magnétique.

Appliquons la formule de Laplace au cas d'un cercle de rayon r au centre duquel serait placé le pôle p. On a dans ce cas

$$\alpha = \frac{\pi}{2}$$

et par suite

$$f = \frac{2\pi}{r} pi$$

de telle sorte que si l'on prend un rayon égal à 2π, on aura $p = 1$ en faisant $f = 1$ et $i = 1$, d'où la définition de l'unité de quantité de magnétisme. Généralement cette équation sert au contraire à définir l'unité d'intensité de courant. Mais si l'on part du *système électromagnétique pratique*, où l'unité d'intensité est une quantité parfaitement définie, l'*ampère*, qu'on détermine, soit par son action électrolytique, soit par l'action d'un *Latimer-Clark* sur une résistance connue en *ohms*, il est loisible de prendre le contrepied de la définition habituelle.

Si au lieu d'avoir dans le même plan une seule spire parcourue par le courant i, nous en avions n concentriques de rayon moyen r_1 tels que

$$\frac{n}{r_1} = \sum \frac{1}{r}$$

la force appliquée au pôle p deviendrait

$$f = 2\pi \frac{np}{r_1} i. \qquad (22)$$

On démontre facilement que tout circuit fermé parcouru par un courant i est équivalent *au point de vue des actions extérieures* à un feuillet magnétique limité au contour du courant et dont la force magnétomotrice serait

$$E = 4\pi i$$

dans le cas de l'équation (21) et par conséquent

$$E = 4\pi ni \qquad (23)$$

dans le cas de l'équation (22).

Le feuillet équivalent aura par suite une puissance

$$R = \frac{KE}{4\pi} = Kni$$

et l'*intensité d'aimantation* sur chacune des faces sera

$$\pm J = \pm \frac{R}{\varepsilon} = \pm \frac{Kni}{\varepsilon}$$

c'est-à-dire que chaque face possédera une couche d'*aimantation induite* égale à

$$\pm Kni \frac{S}{\varepsilon}.$$

Supposons qu'au lieu d'y avoir seulement n spires dans un plan, il y ait N couches de n spires occupant une hauteur h.

L'espacement de deux couches sera $\frac{h}{N}$, de telle sorte que nous pourrons remplacer chaque *couche* par un *feuillet magnétique* d'épaisseur

$$\varepsilon = \frac{h}{N}$$

dont l'*aimantation induite sera*

$$\pm \frac{KNnS}{h} i,$$

La face positive de chaque feuillet coïncidera dans ces conditions avec la face négative du suivant et comme leurs aimantations sont égales en valeur absolue, elles s'annuleront, de telle sorte qu'il ne restera plus en fin de compte que les couches extrêmes avec des aimantations

$$\pm \frac{KNnS}{h} i.$$

On peut dire, *par extension de la notion de feuillet magnétique*, que l'effet de la bobine est de créer entre ses deux extrémités une force magnétomotrice égale à

$$E = 4\pi Nni. \qquad (24)$$

Cette équation qui doit concorder avec l'équation (21) sera utilisée de préférence dans la définition des unités.

(*A suivre.*)

E. Brylinsky,
Ingénieur des Télégraphes.

EXPLOITATION DES STATIONS CENTRALES

TARIFS DE VENTE

I. — Exposé général.

La question, si souvent agitée déjà, de savoir comment doivent être exploitées les stations centrales d'éclairage électrique afin de donner les meilleurs résultats tant pour les abonnés que pour les compagnies exploitantes est de première importance pour l'avenir de l'industrie électrique; elle présente en outre, à Paris, un puissant intérêt d'actualité au moment où le Conseil municipal va discuter le renouvellement des concessions d'éclairage électrique et imposer aux différents secteurs des conditions nouvelles.

Il nous a donc paru intéressant d'exposer cette question dans ses lignes les plus larges; il ne s'agit pas, en effet, d'adopter un système particulier et de rechercher quelles en sont les meilleures conditions d'application, mais bien plutôt de rechercher quel est le meilleur système en comparant entre eux, au point de vue des résultats qu'ils permettent d'obtenir, tous ceux qui ont été proposés.

Nous négligerons les points relatifs à la génération du courant et à sa distribution; nous y reviendrons bientôt; actuellement, nous nous bornerons au sujet énoncé dans le titre de cet article : Comment doit-on établir le tarif de vente?

Le problème ainsi limité est d'ailleurs beaucoup plus complexe qu'il ne parait à première vue : Y a-t-il lieu d'établir un tarif spécial pour chaque catégorie d'applications : — éclairage, chauffage, force motrice, etc.? — Est-il juste de consentir des prix réduits spéciaux pour le courant dépensé par les appareils fonctionnant dans la journée? Quel est, en un mot, le meilleur tarif de vente à adopter pour donner satisfaction à tous les abonnés et permettre à la société exploitante de réaliser des bénéfices? Enfin, quelles catégories de clientèles y a-t-il lieu de rechercher?

Pour répondre à ces questions, il faut avoir présents à la mémoire plusieurs principes bien connus, mais que nous rappellerons néanmoins pour la clarté des développements ultérieurs.

II. — Base des calculs.

Les dépenses annuelles d'une compagnie d'éclairage électrique, — ou mieux d'une compagnie vendant pour un but quelconque l'énergie électrique engendrée dans une usine centrale — peuvent être partagées en deux classes bien distinctes.

a. — La première comprend les frais afférents à la génération du courant électrique, c'est-à-dire le prix du combustible brûlé, de l'eau, de l'huile employée pour le graissage des moteurs et dynamos; les salaires des chauffeurs, mécaniciens, électriciens, nécessaires pour assurer la marche régulière des génératrices, enfin les réparations et l'entretien de ces machines.

Ces frais varient évidemment d'une usine à une autre suivant les prix unitaires des matières premières et de la main-d'œuvre; suivant l'organisation qui permet de plus ou moins bien utiliser cette main-d'œuvre et le matériel; enfin suivant le genre de machines employées, certains moteurs consommant plus ou moins de combustible que d'autres pour un service donné et demandant plus ou moins de réparations. Le meilleur choix à faire, la meilleure organisation à adopter dépendent des circonstances locales; nous n'avons pas à étudier cette question; il nous suffit de savoir que :

1° Ces dépenses sont à peu près proportionnelles au nombre de kilowats-heures engendrés pendant l'année, bien que, pour une usine donnée, elles diminuent légère-

ment lorsque augmente le débit annuel, parce que la main-d'œuvre reste la même et que les moteurs sont plus économiques lorsqu'ils travaillent à pleine charge; ces écarts sont toutefois assez faibles et dans une étude de ce genre peuvent être négligés;

2° Ces dépenses rapportées au kilowatt-heure sont toujours très faibles par rapport aux dépenses totales. Lorsque des usines génératrices sont dans des conditions favorables (moteurs puissants et économiques, grands débits annuels, combustible et main-d'œuvre à bon marché), les dépenses de ce chef peuvent, comme nous l'avons vu [1], s'abaisser à 3,5 et même à 2,9 centimes par kilowatt-heure, — à Brooklyn, le kilowatt-heure produit à l'usine coûte de 2,65 à 4,80 centimes, — soit en moyenne 3,20 centimes [2]. Tous ces prix ont été obtenus dans des usines de tramways. Dans les usines d'éclairage, les prix sont plus élevés par suite des circonstances moins favorables qu'on y rencontre; mais si le développement rationnel de cette industrie permettait d'obtenir des conditions comparables à celles que l'on rencontre dans l'industrie de la traction, il est évident qu'on pourrait engendrer l'énergie électrique à aussi bas prix. C'est un but vers lequel on doit tendre et qui est loin d'être impossible.

b. — La seconde classe de dépenses comprend les charges fixes : intérêt du capital engagé dans l'entreprise y compris les dividendes; amortissement et dépréciation; les appointements des directeurs, ingénieurs, employés divers; les frais généraux : chauffage, éclairage, impôts, assurances, fournitures de bureau, etc. Pour une usine donnée, ces dépenses restent les mêmes quel que soit le nombre de kilowatts-heures engendrés pendant l'année; la part qui revient à chaque kilowatt-heure diminue donc très rapidement lorsque le débit annuel augmente. Ces dépenses sont toujours plus élevées que celles de la première classe.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 453, 6 mars 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 144, 10 juillet 1897.

Leur valeur totale annuelle dépend du débit maximum que l'usine doit être en mesure de fournir pendant le cours de l'année, ce maximum ne se produisît-il qu'un jour dans l'année et pendant une heure ou quelques minutes seulement durant cette journée, ce qui, du reste, est généralement le cas. Il faut, en effet, que la puissance des moteurs soit suffisante pour assurer ce débit et que le diamètre des canalisations soit assez grand pour livrer passage à ce courant.

Pour diminuer les dépenses de cette classe par kilowatt-heure, il faut donc, avec le matériel nécessité par le débit maximum, chercher à engendrer la plus grande quantité possible d'énergie électrique pendant le cours de l'année. Plus le rapport du débit total annuel en kilowatts-heures au débit maximum en kilowatts sera grand et moins les charges fixes auront d'influence sur le prix de revient du kilowatt-heure. Ce rapport s'exprime par un certain nombre d'heures d'après ce qui précède, c'est la durée pendant laquelle tout le matériel devrait tourner à pleine charge pour fournir toute l'énergie électrique dépensée pendant l'année avec des charges variables.

Nous le répétons, ces principes sont bien connus [1], mais il était nécessaire de les rappeler pour exposer plus brièvement et plus clairement ce qui suit.

III. — Applications diurnes.

Considérons d'abord les applications diurnes de l'énergie électrique aux moteurs, appareils de chauffage, etc., et les abaissements de prix considérables consentis pour ces applications.

M. T.-C. Martin exposait récemment [2] d'une façon très claire l'importance que ces applications peuvent prendre : à New-York, une puissance de plus de 17 000 chevaux est

(1) *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 671, 31 décembre 1892; t. XLX, p. 508 et 571, septembre 1892.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 276, 31 juillet 1897.

alimentée par l'usine d'éclairage électrique et la charge diurne de celle-ci, d'après des renseignements qui nous ont été transmis d'Amérique, serait plus considérable que la charge nocturne. Dans un autre cas, cité aussi par M. Martin, la quantité d'énergie électrique fournie aux moteurs électriques pendant l'année représente près des 23 centièmes du débit total de l'usine pour tous les usages, y compris l'éclairage. De même, le chauffage électrique, encore très peu répandu, est susceptible de recevoir de nombreuses applications et peut donner lieu à une vente importante d'énergie électrique.

Ces applications seraient profitables non seulement aux usines, mais aussi au public en général. Ainsi, à New-York une grande partie des moteurs servent à actionner des ascenseurs ; ceux-ci sont moins nombreux à Paris, mais ils donnent lieu néanmoins à une dépense d'eau très considérable. Nos édiles s'en sont émus et plusieurs ont proposé de complètement supprimer toute fourniture d'eau à ces appareils, car l'alimentation de la capitale en eau de source est déjà insuffisante pour les usages auxquels celle-ci est indispensable. L'emploi des moteurs électriques permettrait d'autant mieux de réaliser ce desideratum que l'exploitation des ascenseurs électriques est beaucoup moins chère que celle des ascenseurs hydrauliques, même au prix élevé auquel est vendu actuellement le courant.

A tous les points de vue, il y a donc lieu de chercher à développer ces applications.

Mais dans quelles conditions de prix ?

Logiquement, il n'y a aucune raison pour vendre l'énergie électrique un prix différent parce qu'elle sera utilisée dans des lampes, ou dans des moteurs, ou dans des appareils de chauffage, car elle coûte le même prix à engendrer dans un cas comme dans l'autre.

Les tarifs spéciaux très réduits adoptés parfois ne seraient justifiés que si ces applications nouvelles n'entraînaient pas une augmentation proportionnelle du matériel, c'est-à-dire si les appareils n'étaient maintenus en fonctionnement que depuis l'aurore jusqu'au coucher du soleil et permettaient d'utiliser un matériel improductif sans cela. Mais il est évident que cette condition n'est pas possible ; les moteurs, les appareils de chauffage, par exemple, pendant la saison d'hiver, seront encore en service au moment où se produira la grande demande d'éclairage. Le débit maximum de l'usine sera augmenté d'autant et avec lui les charges fixes. Le fait de la consommation diurne, si elle n'est pas exclusivement diurne, n'est donc pas une raison suffisante pour justifier les abaissements de prix énormes qui sont accordés.

L'argument le plus fort et qui souvent l'emporte sur toutes les autres considérations, pour faire adopter des prix réduits en faveur de certaines applications, c'est qu'il faut permettre à l'électricité de n'être pas plus chère, à égalité de services rendus, que les autres procédés actuellement en usage. Toutefois, il faut que ces prix inférieurs nécessaires soient suffisamment élevés pour ne pas entraîner de déficit, car on serait conduit à compenser la perte résultante par une augmentation exagérée de bénéfice sur d'autres applications, ce qui est injuste et pourrait empêcher le développement de ces dernières ; il vaudrait mieux abandonner cette catégorie d'applications, à moins qu'elle ne forme qu'une faible partie du débit total et qu'elle n'incite le client à employer d'autres appareils, qu'il n'aurait pas adoptés sans cela, et qui permettent de vendre le courant à un prix suffisamment rémunérateur pour compenser la perte et au delà.

Ajoutons que l'adoption de tarifs différents pour chaque application particulière est d'une mise en pratique difficile, un même abonné pouvant employer sur les mêmes circuits des lampes, des moteurs, des appareils de chauffage, etc.

IV. — Tarif unique.

On ne peut pas non plus vendre l'énergie électrique à un tarif unique pour tous les abonnés ; le propriétaire d'un café, par

exemple, qui emploie un grand nombre de lampes et qui les allume tous les soirs pendant plusieurs heures, c'est-à-dire qui dépense une quantité d'énergie électrique considérable, ne voudra ni ne pourra évidemment payer l'unité aussi cher qu'un abonné employant peu de lampes qu'il ne maintient en service que peu de temps par jour. On objectera à cela que ces conditions sont acceptées, — sinon sans murmurer, du moins sans discuter — pour l'éclairage au gaz. Mais pour qu'il en puisse être ainsi avec l'électricité, il faudrait que le client eût avantage à l'adopter de préférence au gaz, quelle que soit l'importance de sa consommation. Si donc on fait des prix spéciaux au gros consommateur dont la clientèle est très désirable, il ne faut pas que, pour compenser la diminution de bénéfices qui en résulte, on élève le tarif de vente pour le petit consommateur, car celui-ci aura avantage à adopter le gaz et sa clientèle sera perdue.

On est ainsi conduit à résoudre ce problème : quel tarif convient-il d'adopter pour chaque catégorie d'abonnés? Il a été discuté à différentes reprises.

V. — Tarif unique avec escompte ; vente a forfait.

En juillet 1892, M. E. Dieudonné étudiait cette question et concluait à la supériorité de la vente par contrat[1].

Son raisonnement était, sous une forme mathématique, le même que celui que nous exposions plus haut (§ II).

La base du calcul repose sur la considération que les dépenses en :

A { Combustible,
Eau.
Huile.
Une partie des salaires.
Les menus frais d'entretien.

sont proportionnelles à la consommation en lampes-heures par an, tandis que les frais entraînés par :

B { Amortissement et intérêt du capital.
Administration et bureaux.
La moyenne partie des salaires.

sont estimés des charges fixes.

Désignons par A et B les deux postes de dépenses. D'une façon générale, dans le cas de L lampes reliées et une durée d'allumage d, nous pouvons exprimer le poste de dépenses A par la formule

$$A = Ldb,$$

dans laquelle b représente le prix que coûte une lampe-heure en charbon, graissage, etc.

Le bénéfice net qu'on désire et qui intervient comme rente du capital est indépendant de la durée d'allumage. Si nous le représentons par G, la formule des revenus annuels sera :

$$E = G + A + B = G + B + Ldb.$$

Si le prix de vente de la lampe-heure est égal à p, pour trouver le résultat E, l'équation suivante devra être satisfaite :

$$E = pLd = G + B + Ldb ;$$

Ce qui donne

$$p = b + \frac{B + G}{Ld}.$$

C'est l'équation d'une courbe hyperbolique.

Il s'ensuit que le prix de la lumière se ressentira fortement de l'influence de la durée moyenne d'allumage des lampes.

En appliquant à cette formule les chiffres relatifs à une petite station centrale calculée par M. Singler[1], on peut tracer la courbe en trait plein de la figure 1 ; elle a pour asymptotes l'axe des ordonnées et une ligne menée parallèlement à l'axe des x à une distance $h = 0{,}0065$ fr. La courbe ainsi dessinée est figurative du prix de vente assurant toujours un bénéfice net de 6 p. 100 quelle que soit la durée d'allumage.

La ligne droite I indique un tarif au comp-

[1] *L'Électricien*, 9 juillet 1892, p. 26, et *La Lumière Électrique*, t. XLVI, 31 décembre 1892, p. 671.

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 17 juin 1892.

teur au taux de 0,05 fr par lampe-heure sans qu'il soit fait d'escompte. Le même tarif accordant des remises donnerait vaguement la ligne II avec les rabais suivants, calculés d'après la durée moyenne d'allumage :

Pour un éclairage quotidien de plus de	Rabais.
1 h.	5 p. 100
1 » 1/2	10 »
2 »	15 »
2 » 1/2	20 »
3 »	25 »
3 » 1/2	30 »
4 »	35 »

Dans un contrat à forfait une somme déterminée est payée par lampe et par an. Si le tarif est de 0,10 fr par lampe de 16 bougies et par jour, $pd = 10$, et la courbe représenta-

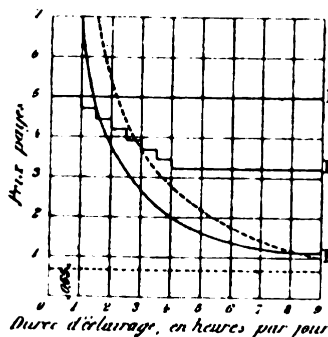


Fig. 1.

tive des sommes payées par lampe-heure est encore une hyperbole figurée en trait pointillé par la ligne III ; elle a aussi pour asymptotes l'axe des coordonnées.

Il résulterait de cette image graphique que la vente au compteur est, au fond, moins conforme aux frais de production du courant.

Cette conclusion provenait d'une fausse interprétation de l'équation générale du prix p de la lampe-heure trouvée plus haut. Le tarif à forfait, outre qu'il a le grave inconvénient de limiter le développement de l'éclairage électrique en incitant l'abonné à ne faire installer que le plus petit nombre de lampes possible, est injuste en ce qu'il ne permet aucun contrôle et ne proportionne pas les prix payés aux services rendus.

VI. — Tarif composé Hopkinson.

L'équation trouvée plus haut correspond, en somme, à un tarif composé plus juste et plus logique.

C'est la conclusion à laquelle parvint M. John Hopkinson [1] et qu'il exposa dans une adresse présidentielle à la *Junior Engineering Society*, en 1892 : « Le mode idéal de vente, disait-il, est une taxe fixe par année, proportionnelle à la plus grande consommation que le client doit jamais demander et une taxe au compteur pour la consommation actuelle ».

En conséquence, il proposait de faire payer une somme fixe annuelle par kilowatt relié, et de vendre ensuite le courant au compteur, à un prix très bas. Le *Board of Trade* anglais sanctionna, sur ses conseils, « une taxe n'excédant pas 75 fr par trimestre par kilowatt relié et, en plus, pour chaque kilowatt-heure dépensé, une taxe ne dépassant pas 0,20 fr ».

Ce genre de tarif a, comme la vente à forfait le grave inconvénient de tendre à restreindre le nombre de lampes — ou autres appareils — reliées, l'abonné ayant tout avantage à ne faire installer que les lampes qu'il doit employer pendant de longues heures, puisqu'il paiera une même somme fixe par lampe, quelle que soit la durée d'allumage de chacune d'elles.

Considérons, par exemple, un particulier voulant s'éclairer à l'électricité. Son désir est évidemment de faire poser une lampe au moins dans chacune des pièces de son appartement; mais il ne séjourne dans chacune de ces pièces que successivement et d'une façon très irrégulière; il se tiendra plus longtemps dans son salon, sa salle à manger, son cabinet de travail, que dans sa chambre à coucher; les lampes de ce dernier service ne seront allumées, pour la moyenne de l'année, qu'une demi-heure au plus par jour. Dans ces conditions, une lampe de 50 watts lui coûterait par an 16,80 fr, soit 9,33 centimes par lampe-heure, tandis que les lampes de son cabinet de

[1] *La Lumière Électrique*, t. LXVI, 31 décembre 1892, p. 673.

travail ou de sa salle à manger, qui seraient allumées en moyenne deux heures par jour ne lui coûterait que 3,05 centimes par heure-lampe. Les premières lui seraient donc très onéreuses et il renoncera à les employer; peut-être même renoncera-t-il complètement à l'éclairage électrique, afin d'avoir un agent uniforme d'éclairage.

Pourtant cette classe de clientèle serait très profitable pour les stations centrales.

Ce tarif est d'ailleurs moins juste qu'il ne le paraît à première vue, puisque les charges fixes de l'exploitation ne sont pas proportionnelles au nombre de lampes reliées, mais bien au nombre de lampes allumées simultanément. C'était précisément ce que disait M. Hopkinson dans la phrase que nous citions précédemment; mais, en se basant sur ce fait, qu'en moyenne, le nombre des lampes allumées au même instant est une proportion déterminée au nombre de lampes reliées dans un cas donné, on en était arrivé à taxer les lampes reliées; ce calcul, basé sur une moyenne, ne répartit pas équitablement les charges et favorise certaines classes au détriment d'autres.

VII. — Le coefficient de consommation. — Valeur comparée des différentes clientèles.

Il faut bien se rendre compte de la valeur relative des différentes clientèles. On commet généralement sur ce sujet de graves erreurs parce qu'on fait une confusion regrettable entre le *nombre de lampes reliées* chez un client et le *nombre de lampes allumées simultanément* chez ce même client.

Nous avons vu plus haut (§ II) que les charges fixes de l'usine, qui représentent la plus grosse part des dépenses totales, sont proportionnelles au débit maximum que cette usine doit être en mesure de fournir et que les charges variables dépendent du nombre de kilowatts-heures fournis.

Plus le rapport entre ces deux quantités :

$$\frac{\text{Kilowatts-heures totaux}}{\text{Kilowatts maxima}},$$

est grand, moindres sont les dépenses par kilowatt-heure.

Or, tous les abonnés peuvent être considérés comme formant une association coopérative dans laquelle chacun possède une portion de l'usine nécessaire pour répondre à ses exigences et doit payer une part proportionnelle des dépenses.

Dans ces conditions, deux points caractériseront, pour l'usine, le service exigé par chaque abonné en particulier :

1° La valeur de la consommation maxima de courant (exprimée en kilowatts ou en lampes allumées simultanément pendant une période quelconque); elle indique la portion de l'usine qui est en quelque sorte la propriété de ce client, puisque ce dernier exige qu'elle soit toujours prête à lui fournir le courant qu'il demande; il doit en supporter les charges fixes;

2° La consommation totale annuelle (exprimée en kilowatts-heures) qui indique la part des dépenses variables que ce client doit supporter.

De même que pour l'usine il est caractéristique du prix de revient du kilowatt-heure, le rapport :

$$\frac{\text{Kilowatts-heures totaux}}{\text{Kilowatts maxima}},$$

est caractéristique du prix que doit payer l'abonné.

Son importance est donc capitale, et comme il doit intervenir souvent dans les raisonnements nous le désignerons sous un nom particulier; il constitue le *coefficient de consommation* de chaque client. Plus sa valeur est élevée, plus le prix payé doit être faible.

Pour bien nous rendre compte de l'importance qui s'attache à la connaissance de la consommation maxima de chaque client, ainsi que de l'inexactitude des conclusions basées uniquement sur le nombre de lampes reliées et sur la consommation totale, prenons un exemple exagéré à dessein.

Considérons deux abonnés, l'un A ayant 100 lampes de 50 watts installées dans ses

locaux et l'autre B n'en ayant que 10; admettons aussi que leur consommation totale annuelle soit la même, environ 180 kilowatts-heures. Un examen superficiel de ces chiffres conduira aux conclusions suivantes: l'abonné A a une durée moyenne d'allumage de 6 minutes par jour et par lampe reliée; le second a une durée moyenne d'allumage de 1 heure par jour et par lampe reliée; il est donc bien préférable au premier. Pourtant il peut n'en rien être; on ne saurait résoudre le problème, car on n'a pas toutes les données. Admettons en effet, qu'au moyen d'un appareil indicateur du genre de celui que nous décrirons plus loin, on sache que la puissance maxima dépensée par ces deux clients a été aussi la même et égale à 250 watts. Qu'est-ce que cela signifie? Qu'à aucun moment, chez chacun de ces abonnés, il n'y a eu plus de 5 lampes allumées simultanément. Les autres lampes n'ont jamais servi ou plutôt n'ont été mises en circuit qu'au plus 5 par 5 à la fois; c'est à peu près comme si ces deux abonnés employaient chacun 5 lampes portatives qu'ils transporteraient d'un point à un autre suivant les besoins du moment. La durée moyenne d'allumage de ces 5 lampes est donc de deux heures par jour; les deux abonnés paraissent déjà bien meilleurs que dans le premier cas et l'abonné A semble aussi avantageux que l'abonné B. Mais si l'on réfléchit que le premier, répartit sa consommation sur 100 lampes, tandis que le second ne la répartit que sur 10, on voit que probablement le premier emploie ses lampes à des heures plus différentes les unes des autres que le second, c'est-à-dire qu'il consomme du courant pendant plus longtemps. Il devient donc le plus profitable, tout au contraire de la première conclusion.

Cet exemple met aussi en lumière l'intérêt qu'on aurait à augmenter le plus possible le nombre de lampes installées chez les abonnés, même si la plupart d'entre elles ne doivent être allumées que pendant peu de temps chaque jour, pourvu qu'elles soient utilisées à des heures différentes les unes des autres; (et ce que nous disons des lampes s'applique à des appareils quelconques).

Le nombre de lampes reliées n'aurait donc plus qu'une signification secondaire.

Lorsqu'on envisage ainsi l'exploitation des stations centrales sous son jour le plus large, on ne tarde pas à reconnaître que certaines catégories de clientèles négligées jusqu'ici seraient en réalité très profitables. Parmi elles, il faut citer tout d'abord la petite bourgeoisie, les employés, les ouvriers. Qu'on mette l'éclairage électrique à portée de leur bourse modeste; ils l'adopteront de préférence en raison de ses avantages et de sa commodité; la lampe électrique remplacera la lampe au pétrole; mais comme elle n'est pas transportable il faudrait installer une lampe dans chaque pièce, soit 4, 5 ou 6 par appartement (cuisine, salle à manger, chambres à coucher, etc.). Mais, en réalité, il n'y aurait jamais plus d'une ou deux lampes allumées simultanément, toute la famille se tenant réunie dans la même pièce; comme cette clientèle est très nombreuse, qu'elle reste à peu près régulièrement chez elle, elle donnerait lieu à un trafic très intense et très régulier, c'est-à-dire très rémunérateur. Il faut remarquer de plus, que ses lampes resteraient souvent en service le soir assez tard, jusque vers 10 heures en moyenne, souvent plus tard encore, car les veillées ne sont pas rares dans cette classe laborieuse si intéressante; le matin, en hiver, les lampes seraient aussi allumées. La durée moyenne d'allumage, ou mieux le coefficient de consommation atteindrait chez la plupart des abonnés de cette nature des valeurs très élevées, souvent près d'un millier d'heures par an. Une usine dont la clientèle serait exclusivement formée d'abonnés de ce genre se trouverait dans des conditions très favorables.

La clientèle bourgeoise serait donc bien préférable à celle des maisons de commerce de gros, par exemple, qui allument toutes leurs lampes depuis le coucher du soleil jusqu'à 6 ou 7 heures du soir, et n'ont une durée moyenne d'allumage que de 350 à 500

heures; elle serait bien préférable aussi à la clientèle riche qui s'absente pendant une grande partie de l'année qu'elle passe à la campagne, aux eaux, à la mer, à la chasse, dans le midi, et qui fait relier un grand nombre de lampes dans les salons et pièces de réception où elles ne sont allumées qu'à intervalles espacés, mais toutes en même temps.

Les stations centrales d'éclairage électrique ont dans cette clientèle bourgeoise un vaste champ à exploiter. Il serait juste qu'elles cherchent à la conquérir en n'établissant pas des tarifs prohibitifs, mais bien plutôt en rapport avec les bénéfices qu'elles retireraient de son concours.

Ce résultat ne peut être obtenu qu'en répartissant équitablement les charges sur les différents abonnés et en consentant des rabais suffisants. Ces diminutions de tarif n'impliquent pas pour l'usine une diminution de recettes, ni de bénéfices, au contraire, car elles sont toujours accompagnées d'une augmentation de trafic considérable comme l'a surabondamment prouvé l'expérience, à Brighton (§ IX) pour l'éclairage électrique et comme on en trouve de nombreux exemples dans l'histoire des postes ou des transports par chemins de fer.

Pour que la diminution de tarif entraîne une augmentation sensible de la consommation totale et du coefficient d'utilisation, il faut que le rabais soit assez important pour que le client cherche à l'obtenir; s'il sait par exemple qu'en employant l'éclairage électrique dans toutes les pièces de ses appartements, en utilisant des appareils de chauffage, des moteurs, il arrivera à une consommation suffisante pour obtenir le demi-tarif, il n'hésitera pas à le faire, tandis qu'une diminution de 5 ou 10 pour 100 n'aurait pour lui qu'un intérêt secondaire, insuffisant pour l'engager à faire relier un nombre de lampes supérieur à celui qui lui est strictement nécessaire.

VIII. — L'indicateur de consommation maxima, système Art. Wright.

La difficulté, pour appliquer un tarif basé sur la demande maxima de chaque client, résidait précisément dans la détermination de cette demande maxima. Un ingénieur anglais, M. Arthur Wright, s'est appliqué à résoudre ce point particulier; il a été conduit ainsi à inventer un wattmètre à maximum ou indicateur de consommation et à établir un système de tarification qui a été appliqué

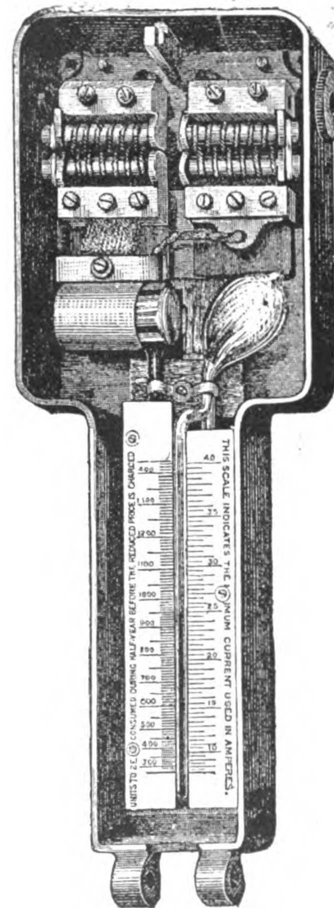


Fig. 2. — Indicateur Wright.

pour la première fois dans la ville de Brighton et qui est connu pour cette raison sous le nom de système de Brighton, ou système Wright.

Voici d'abord la description de l'indicateur :

Il consiste en un tube de verre en forme d'U, terminé à ses deux extrémités par des ampoules en verre hermétiquement fermées (fig. 2); une de ces ampoules, celle de gauche, est entourée de quelques spires de fil de cuivre

qui sont parcourues par le courant servant à alimenter les lampes, l'appareil étant monté en série avec elles et avec le compteur; le tube de verre porte sur le côté droit, à sa partie supérieure, une branche également en verre fermée par le bas et qui descend verticalement sur le devant de l'appareil, en face d'une planchette qui porte deux graduations différentes, avec les indications suivantes : à droite, « cette échelle indique l'intensité maxima du courant dépensé, en ampères »; « à gauche, consommation semestrielle en kilowatts-heures nécessaire avant application du tarif réduit ». Le tube en U est en partie rempli d'un liquide coloré spécial. L'indicateur est enfermé dans une boîte fermée en avant par une glace ; il se place verticalement.

Son fonctionnement est très simple.

Au début, lorsque l'appareil n'a pas encore été mis en circuit, le liquide s'élève au même niveau dans les deux branches du tube en U et le tube antérieur ou indicateur n'en contient pas. Lorsque le courant passe dans les spires conductrices, l'échauffement qui en résulte provoque une dilatation de l'air contenu dans l'ampoule de gauche, et le liquide s'élève dans la branche de droite et vient tomber dans l'indicateur; la dénivellation produite est fonction de la température atteinte et par conséquent de l'intensité du courant; la hauteur du liquide tombé dans l'indicateur donne donc la mesure de l'intensité la plus grande que le courant aura prise à un moment quelconque pendant toute la période que l'appareil sera resté en service puisqu'il ne peut tomber de liquide dans l'indicateur, à un moment donné, que si le liquide s'élève plus haut qu'il ne l'a fait précédemment.

Comme il faut quelques minutes pour que l'échauffement se produise, une consommation accidentellement exagérée, telle qu'en pourrait produire un court circuit, ne peut fausser les indications fournies. La quantité d'énergie électrique consommée par l'appareil varie évidemment avec les dimensions de celui-ci et avec l'intensité du courant qui le parcourt; elle varie entre 3 et 7 watts, c'est-à-dire qu'elle est toujours assez faible pour être négligeable.

On peut ainsi facilement déterminer quelle a été la consommation maxima d'un abonné pendant une période déterminée, puisqu'il suffit de lire sur l'échelle de droite le chiffre auquel s'arrête le niveau du liquide dans le tube antérieur. Sur l'échelle de gauche, au même niveau, on inscrit le nombre de kilowats-heures qui doivent être dépensés (égal à n fois la demande maxima) avant que le tarif réduit soit appliqué. L'abonné lui-même a ces indications sous les yeux à tout moment et peut facilement vérifier son compte. On peut établir les graduations pour que la lecture des indications soit faite tous les mois, tous les trimestres, tous les semestres ou tous les ans.

Lorsque la lecture de l'indicateur a été faite par l'employé de la Compagnie, il suffit à celui-ci d'incliner convenablement l'ensemble des tubes pour faire retourner tout le liquide dans le tube en U et remettre l'appareil à zéro pour la période suivante. Cette opération ne peut évidemment pas être faite par l'abonné lui-même qui pourrait ainsi fausser les indications de l'appareil entre deux visites de l'inspecteur.

Connaissant la consommation maxima d'un abonné donnée par l'indicateur et sa consommation totale donnée par le compteur ordinaire, on a tous les éléments nécessaires pour établir son compte. Voici comment se fait le calcul à Brighton.

IX. — Tarif différentiel Wright, ou tarif de Brighton.

La méthode est basée sur la considération développée plus haut que chaque client doit d'abord payer une part des charges fixes proportionnelle au capital dont il exige l'immobilisation, avant de participer à un tarif réduit quelconque. En 1892, M. Wright fit le calcul relatif à l'usine de Brighton. Il

trouva que si le coefficient de consommation d'un abonné était de deux heures par jour, c'est-à-dire si cet abonné dépensait pendant l'année une quantité totale d'énergie électrique correspondant à sa consommation maxima pendant deux heures par jour, il avait payé sa part proportionnelle et qu'on pouvait sans perte lui vendre le surplus de sa consommation à moitié prix.

Considérons, par exemple, un abonné ayant chez lui 100 lampes de 50 watts; il en allume simultanément au plus 50; pendant l'année, sa consommation enregistrée au compteur a été de 3 800 kilowatts-heures; l'indicateur indiquera une consommation maxima de 2 500 watts (50 × 50), soit environ 25 ampères, si la distribution se fait à 100 volts; la consommation minima nécessaire pour obtenir le demi-tarif est donc de 2 500 × 365 × 2 = 1 825 kilowatts-heures; ceux-ci seront facturés au prix fort, soit 0,735 fr (7 pence); le surplus, 1 975 kilowatts-heures, sera facturé à moitié prix, soit 0,3675 fr. L'abonné paiera donc,

1825 kw.-h.	à 0,735	=	1 341,40 fr.
1975 »	à 0,3675	=	725,80 »
	Total.		2 067,20 fr.

Soit une moyenne de 0,544 fr par kilowatt-heure.

Le prix moyen resterait le même avec 100 lampes reliées, une consommation maxima de 250 watts et une consommation totale de 380 kilowatts-heures; en un mot, le prix moyen du kilowatt-heure, pour chaque client, pendant l'année, ne dépend que du rapport de la consommation, maxima à la consommation totale, c'est-à-dire du coefficient de consommation; il est indépendant du nombre de lampes reliées, ce qui permet à l'abonné d'employer autant de lampes qu'il peut lui être utile, et qu'il allumera successivement.

A Brighton, dès la première année, 40 p. 100 des abonnés profitèrent du tarif réduit; en même temps, la diminution de prix que ce tarif donnait, entraîna l'adhésion d'un grand nombre de nouveaux clients et l'installation de nouveaux appareils chez les anciens abonnés. Le coefficient de charge de l'usine augmenta dans de telles proportions qu'au commencement de la seconde année d'application du tarif ci-dessus, on put réduire la durée minima d'utilisation à une heure par jour (¹) au lieu de deux; il en résulta une nouvelle dimi-

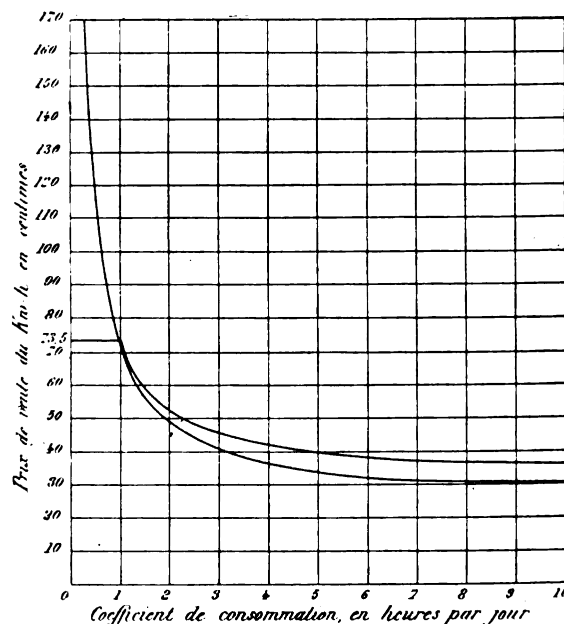


Fig. 3.

nution du prix de vente moyen, et par conséquent une nouvelle classe d'abonnés susceptibles d'adopter économiquement l'éclairage électrique. En répétant les calculs précédents avec les conditions, on voit que le kilowatt-heure reviendrait en moyenne à 0,456 fr. Les rapports adoptés entre la consommation maxima et la consommation totale n'ont d'ailleurs rien d'improbable dans la plupart des cas, car les abonnés, en faisant relier un plus grand nombre de lampes qu'auparavant, et en les allumant successivement augmentent leur consommation totale sans accroître leur consommation maxima.

L'avantage que les abonnés retirent de ce mode de tarification est bien évident. Il

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 221, 4 mai 1895.

est prouvé par ce fait qu'à l'heure actuelle les trois cinquièmes de la consommation totale sont fournis au tarif réduit; le prix de l'éclairage électrique ressort ainsi à un chiffre moins élevé que celui de l'éclairage au gaz ; l'usine a de la sorte attiré une grande partie de la clientèle bourgeoise; même dans les quartiers pauvres elle a de nombreux clients qui lui procurent des bénéfices importants.

Pour bien se rendre compte du résultat obtenu par la Société exploitante, il suffit d'examiner ses rapports annuels et de suivre le développement du trafic pendant cette période.

Brighton est une ville de 90 000 à 100 000 habitants, très fréquentée à l'époque des bains de mer. Le charbon y coûte environ 25 fr la tonne à pied d'œuvre.

Une première usine de peu d'importance y fut installée en 1885, mais ce n'est qu'en 1891, après avoir obtenu toutes les autorisations nécessaires, que la municipalité construisit l'usine actuelle.

Le gaz y coûte environ 12,2 centimes le mètre cube (2/9 les 1 000 pieds cubes) ; il fallait donc vendre l'énergie électrique à très bas prix. L'idée mère qui présida à l'exploitation fut que « l'usine est faite pour le client et non le client pour l'usine ». Cette conception juste a porté ses fruits. En effet, comme on peut le voir sur le tableau I ci-joint, le nombre d'immeubles reliés qui n'était que de 212 en 1892, s'est élevé à la fin de 1896 à 1366; dans les trois premiers mois de 1897 le nombre de nouveaux abonnés fut de 50 p. 100 plus élevé que pendant la période correspondante de 1896.

Tableau I

Données d'exploitation, à Brighton.

ANNÉES	VENTE annuelle totale en kw-h.	MOYENNE des débits maxima pour les deux dernières années.	KW-H vendus pendant l'année par kw maximum.	COEFFICIENT de diversité.	LONGUEUR des voies canalisées en fin d'année en km.	VENTE annuelle en kw-h par km de voies canalisées.	NOMBRE d'immeubles reliés en fin d'année.
1892	156000	160	913	1,25	6,84	22813	212
1893	286900	287	1000	1,36	15,29	18763	420
1894	583701	508	1150	1,54	28,16	20728	853
1895	867494	740	1170	1,54	31,78	27297	1065
1896	1 388 871 [1]	900	1405	1,46	35,48	39144	1366

[1] Correspondant à 1633576 kw-h engendrés, se répartissant comme suit :

Service public	261820
» privé	1127001
» de l'usine	32871
Pertes	231864
Total	1633576

Le nombre de kilowatts-heures vendus qui n'était que de 286 895 en 1892, n'a pas été moindre de 1 388 821 en 1896. Cela correspond à une consommation d'environ 17 kilowatts-heures par habitant et par an, chiffre très élevé. Les bénéfices ont suivi une marche analogue : ils ne furent que de 300 fr en 1892 ; en 1893 ils atteignaient dejà 75 000 fr ; et en 1894 ils s'élevaient à plus de 125 000 fr. Le courant était à cette époque vendu à raison de 73,5 centimes pour un coefficient d'utilisation égal ou inférieur à une heure par jour et à raison de 36,75 centimes pour le

surplus; en 1894, le tarif réduit fut abaissé à 31,5 centimes; en fin d'année, les bénéfices furent néanmoins de 165 000 fr; en 1896, ils furent de 258 000 fr; ils sont tels qu'un nouvel abaissement de prix sera bientôt fait: le tarif réduit ne sera plus de que de 21 centimes; on espère même pouvoir l'abaisser un jour à 18,375 centimes, le prix maximum restant fixé à 73,5 centimes.

Par suite du plus grand nombre de clients répartis dans des classes différentes, et qui par conséquent allument leurs lampes à des heures différentes, l'augmentation du débit total annuel n'a pas entraîné une augmentation proportionnelle du matériel; si tous les abonnés consommaient leur maximum à la même heure, le matériel devrait être augmenté de 50 p. 100 environ, comme l'indique la colonne intitulée « coefficient de diversité ». Le coefficient d'utilisation du matériel à l'usine qui était de 913 en 1892 a été, en 1896, de 1405, c'est-à-dire qu'il a augmenté de plus de 50 p. 100.

Non seulement le matériel de l'usine, mais encore les canalisations sont beaucoup mieux utilisées: le nombre de kilowatts-heures vendus par km de voie canalisée a été en 1896 de 39 144 kilowatts-heures; c'est une valeur très élevée; au tarif où l'énergie électrique est vendue à Paris, cela représenterait une recette de 50 fr environ par mètre de voie canalisée et par an.

Le prix de vente moyen en 1895 a été de 49,45 centimes et en 1896 de 48,09 centimes par kilowatt-heure (tableau II), ce qui indique qu'en moyenne 57,25 p. 100 du courant ont été vendus à prix réduit en 1895 et 60,5 p. 100 en 1896.

TABLEAU II

Résultats d'exploitation, à Brighton.

ANNÉES	FRAIS de 1er établissem. en fin d'année.		DÉPENSES ANNUELLES									Recettes totales (vente du courant, location des compteurs, renouvellement des lampes).	PRIX moyen du kw-h vendu.		Proportion vendue à prix réduit.
	Total.	par kw-h max.	Charbon.	Huile, chiffons, etc.	Salaires à l'usine génératrice.	Réparation et entretien des bâtiments, moteurs, dynamos, chaudières, etc.	Impôts et redevances.	Frais généraux : Direction, administration, comptabilité, frais divers, assurances, avocats, etc.	Dépréciation.	Amortissement.	Total.		Prix de revient.	Prix de vente.	
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	cent.	cent.	p. 100
1892	1 325 000	82 815													
1893	1 963 525	68 415													
1894	2 984 550	58 751	50 405	13 970	24 845	15 780	580	29 465	—	97 710	232 755	397 812	39,9	64,26	43,66
1895	3 788 575	51 197	64 900	13 300	42 975	32 325	7 925	52 000	—	103 675	317 100	452 350	36,9	49,45	57,25
1890	4 467 025	49 639	99 600	15 100	49 925	13 125	36 275	81 250	—	107 775	403 075	661 571 (1)	29,3	48,09	60,50

(1) Non compris le service municipal.

Ces résultats sont d'autant plus remarquables que les prix de vente moyens ont été extrêmement faibles; ils prouvent une fois de plus que l'intérêt de l'exploitant et celui de ses clients sont intimement liés.

Il faut remarquer, cependant, que l'exploitation étant faite par la municipalité, ces chiffres ne sauraient s'appliquer à des exploitations privées; dans ce dernier cas, il faudrait tenir compte de la durée de la concession, des frais de premier établissement plus élevés par suite des concours financiers qu'il faut rétribuer, de l'intérêt du capital et des dividendes, etc. Une société privée devrait donc vendre le kilowatt-heure un prix plus élevé, ce qui paralyserait le développement;

il est vrai, si l'on tient compte du prix du gaz à Brighton (12,2 cent le mètre cube) et à Paris (30 cent le mètre cube) par exemple, on aperçoit immédiatement la possibilité d'une élévation sensible du tarif.

A la suite des résultats satisfaisants obtenus à Brighton, près de 50 villes anglaises ont adopté le système Wright, notamment : Bournemouth, Blackburn, Blackpool, Bolton, Cardiff, Cheltenham, Coventry, Glasgow, Hammersmith, Hove, Hull, Islington, Kingston, Northampton, Oldham, Preston, Shoreditch, Southport, South Shields, Stafford, etc.

Les tarifs adoptés sont les suivants :

Shoreditch et Hammersmith : prix initial, 63 centimes ; prix réduit, appliqué après un coefficient de consommation égal à 1 heure par jour, 42 centimes.

Islington : prix initial, 73,5 centimes ; tarif réduit, appliqué après un coefficient de consommation égal à 2 heures par jour, 36,75 centimes.

Autres villes : prix initial, 84 centimes ; coefficient de consommation égal à 2 heures par jour ; tarif réduit, 42 centimes.

Tout récemment encore, la Compagnie County of London and Brush Provincial Electric Lighting a décidé son adoption à partir du 1er juillet 1897, aux conditions de prix suivantes :

Pour l'éclairage : les deux premières heures de service quotitien de la consommation maxima (7d)	0,735 fr. le kw-h.
Le surplus de la consommation (3d)	0,315 »
Pour la force motrice (si les moteurs sont branchés sur les circuits spéciaux à 500 volts) : la 1re heure de service quotidien de la demande maxima (6d)	0,630 »
Le surplus de la consommation (2d)	0,210 »

Il est certain que l'emploi de ce système, par l'examen raisonné des chiffres relevés, pourra fournir des documents précieux sur l'exploitation des stations centrales en indiquant les catégories de clientèles ayant le plus grand coefficient de consommation et qui, partant, sont les plus avantageuses.

X. — Installation des lampes et des branchements ; location des compteurs.

Pour que ce système porte tous ses fruits, il faut que les frais de branchement, colonne montante, dérivations secondaires, et d'appareillage soient aussi réduits que possible ; s'il faut que l'abonné débourse une somme importante par lampe qu'il fait installer, il en fera installer le moins possible ; et s'il faut qu'il paye des frais mensuels de location de branchement et de compteur proportionnels, dans une certaine mesure, au nombre de lampes reliées, les avantages du tarif basé sur la demande maxima seront atténués à la fois pour l'abonné et pour l'usine.

Tous les directeurs de stations centrales suivront donc avec intérêt les résultats qui seront obtenus à Worcester où, d'après les conseils de M. Ruthven Murray, les conditions suivantes vont être adoptées :

L'énergie électrique sera vendue à raison de 63 centimes (6 pence) le kilowatt-heure, tant que le coefficient d'utilisation ne dépassera pas une heure par jour ; toute la consommation en excès de ce minimum sera facturée à raison de 26,55 centimes le kilowatt-heure (2,5 pence).

La consommation maxima serait relevée tous les mois et les rabais seraient calculés d'après les relevés semestriels.

Ce sont des prix excessivement bas car, pour un coefficient de dix heures par jour, possible avec des moteurs, dans l'industrie, le prix moyen du kilowatt-heure ressortirait à 30,2 cent.

En plus, les compteurs seraient prêtés gratuitement lorsque le coefficient d'utilisation atteindrait ou dépasserait une heure par jour. Les lampes à incandescence seraient remplacées gratuitement de la façon suivante : une lampe serait donnée pour chaque consommation de 50 kilowatts-heures, correspondant à

1 000 heures d'allumage d'une seule lampe de 50 watts; comme cette durée d'allumage se répartit sur l'ensemble des lampes installées, cela correspondrait en réalité au remplacement de chaque lampe après une durée d'allumage de 500 ou 600 heures environ. Enfin, on faciliterait, par tous les moyens possibles, notamment par entente avec des compagnies intermédiaires, l'installation gratuite des colonnes montantes et de l'appareillage.

Dans de telles conditions, l'éclairage électrique serait beaucoup meilleur marché que l'éclairage au gaz et M. Ruthven Murray estime que l'usine réaliserait des bénéfices suffisants. Voici quels ont été les résultats obtenus en 1896, avec l'ancien tarif:

L'usine a une puissance totale de 500 kilowatts, répartie entre 4 alternateurs de 125 kilowatts chacun; trois d'entre eux peuvent être entraînés par des moteurs à vapeur ou par des moteurs hydrauliques (ces derniers n'auraient donné que des résultats peu satisfaisants). Le capital dépensé était de :

Terrains	144 550 fr
Bâtiments	519 075 »
Machines, canalisations, transformateurs.	804 150 »
Compteurs	36 975 »
Instruments.	6 600 »
Matériaux divers	21 550 »
Total.	1 532 900 fr

Les ventes d'énergie électrique furent les suivantes :

Nature du service.	Nombre de kw-h vendus	Prix de vente du kw-h en cent.
Moteurs entraînant les pompes pour le service public des eaux.	124 212	14,175
Éclairage public. . . .	42 565	29,400
Consommation des particuliers; charge diurne	10 569	18,375
Éclairage	156 298	48,090
Total . . .	333 644	
Moyenne . .		32,214

Les recettes par vente de courant ont donc été de 106 625 fr.

Le débit maximum fut de 310 kilowatts; 10 910 watts-heures furent vendus en moyenne par lampe installée.

L'usine a été installée en 1894 par la municipalité; les résultats donnés par l'exploitation ont été les suivants :

Recettes de toutes natures. . .	113 600 fr
Dépenses » . . .	110 475 »
Rapport des dépenses aux recettes	97,5 p. 100
Recettes totales par kw-h vendu	0,34335 fr
Dépenses » » »	0,33390 »

Nature des dépenses.	Total des dépenses. fr.	Proportion des dépenses totales annuelles. p. 100	Par kw-h vendu. cent.
Génération du courant (¹) .	51 825	46,95	15,615
Distribution du courant.	1 825	1,65	0,525
Direction du courant . .	10 750	9,7	3,255
Impôts, loyers assurance. .	9 125	41,7	13,965
Amortissement	36 950		
Totaux. .	110 475	100	33,36

Le tarif nouveau, s'il provoque un développement sensible des applications électriques, pourra donc permettre à l'usine de réaliser des bénéfices, insuffisants pour une entreprise particulière, mais suffisants pour une affaire organisée par la municipalité pour assurer un service public.

XI. — Conditions spéciales pour les durées d'utilisation très courtes ou très longues.

Le seul reproche qu'on puisse faire à ce système de tarification, c'est qu'il ne favorise pas suffisamment les abonnés ayant un coefficient très élevé, tandis qu'au contraire les clients dont le coefficient est très faible ne payent pas une part proportionnelle suffisamment élevée.

(¹) Se décomposent en : charbon 22 175 fr.
huile, chiffons, etc., 3 075 fr.
main-d'œuvre, appointements, 23 850 fr.
réparations et entretien, 2 725 fr.

Ainsi, à Brighton, en 1896, 141 clients ne profitèrent pas du tarif réduit; sur ce nombre, 74 payèrent en tout, par semestre, 1 025 fr; rien que les charges fixes pour ces 74 abonnés sont de 5 600 fr. Pour obvier à cet inconvénient, il a été décidé qu'à l'avenir chaque abonné paierait au minimum 37,50 fr par an. Pour les abonnés ayant un coefficient de consommation très élevé, il n'y a pas lieu de faire de nouvelle concession, le tarif actuel étant moins élevé que celui du gaz pour les mêmes applications.

Cependant, M. Wilmerding, en Amérique et M. Hastings, en Angleterre, proposent de revenir à un système analogue à celui de M. Hopkinson, mais en basant la taxe fixe annuelle non sur le nombre de lampes reliées, mais sur la consommation maxima. M. Hastings propose une taxe fixe de 5 fr par lampe de 10 bougies demandée et par an, soit environ 150 fr par kilowatt de consommation maxima et une taxe proportionnelle à la consommation totale.

Le système de M. Wilmerding est analogue.

Voici comment se feraient les calculs. Supposons une usine dont les charges fixes annuelles soient de A fr, et dont le débit maximum, au jour de plus forte charge, soit de W kilowatts, exprimé en kilowatts vendus, (débit de l'usine, moins les pertes en ligne). Chaque client devra payer une taxe fixe de $\frac{A}{W}$ fr par an et par kilowatt de consommation maxima, plus une taxe proportionnelle de *a* fr par kilowatt-heure consommé d'après les indications du compteur. La courbe figurative des prix payés par kilowatt-heure, en fonction de la durée d'allumage, ou, ce qui revient au même, du coefficient d'utilisation $\frac{\text{W-H total}}{\text{W max.}}$, serait alors une hyperbole dès l'origine, tandis que dans le système Wright elle se compose d'une droite horizontale pour la première heure et d'une courbe descendante à partir de ce point. Les courbes de la figure 3 permettent de saisir la différence qu'il y a entre les deux systèmes. La courbe I est calculée d'après les prix payés à Brighton : 0,735 fr par kilowatt-heure, tant que la consommation totale n'atteint pas une valeur égale à 365 fois la consommation maxima et 31,5 cent pour le surplus; la courbe II est calculée d'après le tarif composé, en admet- que la taxe fixe annuelle par kilowatt de consommation maxima soit de 175 fr et que le prix du kilowatt-heure soit de 0,25 fr. Les prix payés par les clients par kilowatt-heure sont portés en ordonnées et le nombre d'heures d'allumage par jour sont portées en abscisses.

Mais il faut remarquer que le prix maximum est déterminé par la condition que le prix de revient de l'éclairage électrique ne soit prohibitif et soit comparable à celui des autres illuminants. Si cette condition n'était pas réalisée, on perdrait une certaine classe de clients et comme, d'autre part, les abonnés employant leurs lampes pendant de longues heures paieraient moins cher, l'usine verrait les recettes diminuer, si elle adoptait le tarif composé. Les abonnés dont la durée moyenne d'allumage est beaucoup moindre de une heure par jour de la charge maxima sont d'ailleurs assez peu nombreux et, à partir de cette durée, le second tarif est moins avantageux que le premier pour l'usine.

Le tarif différentiel répondrait donc mieux aux conditions pratiques, puisqu'il permet d'atteindre les deux buts qu'on se propose : satisfaire la clientèle et réaliser des bénéfices. Il résout ce problème, assez bizarre en apparence, de vendre le courant à un prix uniforme à tous les clients et de faire en sorte que chaque abonné paye un prix différent.

Pour les applications importantes exclusivement diurnes, on pourrait établir des tarifs réduits spéciaux.

G. Pellissier.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DES VÉHICULES DES CHEMINS DE FER DU JURA-SIMPLON (¹)

Au commencement de 1894, l'éclairage électrique ayant été appliqué sur presque tous les trains, il devint difficile d'assurer la charge de toutes les batteries avec la seule usine de Fribourg, non pas tant à cause de la puissance de la sous-station, qu'il aurait été facile d'augmenter, qu'en raison des difficultés que l'on éprouvait à rassembler tous les accumulateurs en un seul point du réseau. La Compagnie du Jura-Simplon profita de ce qu'une grande station centrale hydraulique s'était installée à Bienne, en avril 1893, pour créer dans la gare de cette ville une seconde usine de charge, en un point assez éloigné de Fribourg et très bien placé pour l'échange des batteries.

On a établi comme à Fribourg une sous-station servant en même temps à la charge des accumulateurs et à l'éclairage de la gare. Cette sous-station a été édifiée en août 1893, en agrandissant un petit bâtiment isolé placé à 200 mètres de la gare et contenant la petite installation d'éclairage électrique par machine semi-fixe qui desservait auparavant la gare. Mais en cet endroit de la voie l'espace étant mesuré, toutes les parties de l'installation se trouvent beaucoup plus resserrées qu'à Fribourg.

La figure 3 donne le plan de l'usine. En C se trouve l'ancienne station d'éclairage dont les machines, représentant une puissance totale d'environ 20 chevaux, ont été conservées et servent de réserve. A la suite de cette salle on a construit une salle de machine E, de 4 m × 10 m et un petit atelier F, de 4 m × 4 m, puis une grande salle de charge D de 9 m × 11 m.

Nous avons donné naguère (²) une description détaillée de l'installation électrique de Bienne, que nous avions visitée au moment où elle ne desservait que les ateliers du Jura-Simplon. Rappelons en quelques mots les traits principaux de cette intéressante installation. La station primaire, exécutée entièrement par la maison Lahmeyer, de Francfort, est située à Boujean, dans le moulin de la Suze, à 2 km de Bienne. Elle utilise la chute de 50 m bien connue sous le nom de *Taubenloch* ou gorges de la Suze, au moyen de 2 turbines de 250 chevaux, actionnant chacune 2 génératrices triphasées de 65 kilowatts. Le courant de 80 volts produit par les alternateurs est élevé à l'usine à la tension de 1 800 volts, puis envoyé sur 2 lignes primaires composées chacune de 3 fils de cuivre nus. Une des lignes, de 2,10 km de longueur, en fils de 6 mm de diamètre, se rend aux ateliers du Jura-Simplon, à 1 km de Bienne, où elle alimente une machine curieuse fournissant à elle seule la force motrice et l'éclairage des ateliers. C'est un convertisseur polymorphe fonctionnant comme moteur synchone avec les courants triphasés à 1 800 volts et rendant la puissance mécanique produite, partie sur un arbre de transmission et partie dans un circuit induit générateur de courant continu à 110 volts.

Le convertisseur-moteur avait au début une puissance de 60 kilowatts ou 80 chevaux, dont 60 chevaux étaient employés pour la force motrice et 20 chevaux pour l'éclairage des ateliers. Mais la Compagnie ayant décidé 6 mois après d'installer plusieurs chariots électriques, la machine est devenue insuffisante, et on l'a remplacée, en octobre 1893, par un nouveau convertisseur-moteur, d'une puissance de 90 kilowatts ou 120 chevaux, fournissant comme précédemment, 50 à 60 chevaux de force motrice, mais pouvant donner un courant continu de 450 ampères, représentant à la tension de 110 volts une puissance de 60 chevaux. Cette puissance n'est pas tou-

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 28 août, p. 392.

(²) Voir *La Lumière Électrique*, 1894.

jours utilisée, car l'éclairage n'exige que 50 ampères environ; le reste du courant est employé lorsqu'on met en marche deux chariots électriques, servant à la manutention des wagons et locomotives dans les ateliers, qui sont actionnés par des moteurs à courant continu. La ligne des ateliers fournit également le courant à un petit moteur triphasé asynchrone, de 15 chevaux, actionnant diverses machines-outils.

Une deuxième ligne primaire de 3,2 km de longueur, formée de 3 fils de cuivre de 7 mm de diamètre, part de la station de Boujean et se rend à la gare de Bienne, située à l'extrémité de la ville. En traversant celle-ci elle dessert par 3 petits branchements 3 transformateurs ordinaires à courants triphasés, dont les circuits secondaires alimentent chacun une petite canalisation à courants triphasés de 100 volts, actionnant quelques lampes à incandescence, et surtout un grand nombre de petits moteurs asynchrones, de 3 à 10 chevaux, placés dans de petits ateliers de menuiserie. La puissance totale distribuée dans la ville est de 65 chevaux, et celle absorbée par la sous-station de la gare, de 65 chevaux également; la ligne de la gare transmet donc une puissance de 130 chevaux environ.

Les 3 points réunis, ateliers, ville et gare, absorbent à certain moment environ 300 chevaux c'est-à-dire presque toute la puissance disponible de l'usine primaire qui est de 350 chevaux. C'est pourquoi on n'a pu jusqu'à présent desservir en ville que très peu de lampes; mais on étudie en ce moment un projet d'agrandissement de l'usine primaire par utilisation d'une chute d'eau de la Suze, située à 6 km en amont du Taubenloch, et pouvant fournir une puissance de 5 000 chevaux.

La ligne aérienne venant de Boujean s'arrête aux bâtiments de la gare; de là elle se continue jusqu'au local de la sous-station par 3 câbles armés, isolés au jute, de 100 mm² de section, posés en terre sur une longueur de 300 m.

Les courants triphasés qui arrivent de la station primaire à la tension de 1 800 volts sont utilisés à l'usine de la gare, dans un convertisseur Lahmeyer G (fig. 3) qui les transforme en un courant continu à 120 volts.

Ce convertisseur se compose d'un induit mobile A (fig. 1), en forme de tambour de 0,80 m de longueur et 0,60 de diamètre, et

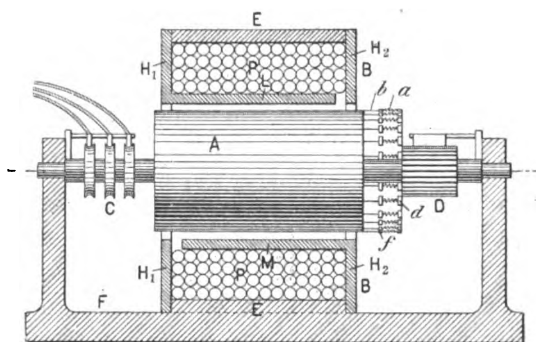


Fig. 1. — Convertisseur Lahmeyer.

d'un inducteur annulaire B, à 8 pôles, présentant un diamètre extérieur de 1,30 m. L'induit porte d'un côté un collecteur à haute tension C, composé de trois bagues pleines sur lesquelles frottent 3 balais reliés aux 3 fils amenant les courants polyphasés à 1 800 volts, et de l'autre côté un collecteur D à lames sur lequel appuient les balais fournissant le courant continu à 120 volts. L'appareil qui a une puissance de 90 kilowatts, forme un ensemble très peu volumineux.

L'inducteur surtout tient peu de place, grâce à une disposition particulière du système excitateur, qui est à bobine unique. Il se compose d'une couronne en fonte extérieure E faisant corps avec le bâti F, et sur les côtés de laquelle sont vissés 2 plateaux en fer H_1 H_2, portant chacun 4 larges dents L_1 L_2 L_3 L_4, M_1 M_2 M_3 M_4, s'avançant vers l'intérieur. Ces dents L et M sont entrecroisées et forment une sorte de couronne intérieure composée de 8 palettes alternativement positives et négatives, entourant le tambour induit. Les dents sont disposées de façon à laisser entre elles et la couronne extérieure du bâti un vide intérieur annulaire servant à loger une bobine inductrice

unique P, qui développe une polarité positive dans l'un des plateaux latéraux H_1 et négative dans l'autre H_2. C'est, on le voit, une disposition tout à fait analogue à celle qui est employée pour la construction du circuit inducteur de la plupart des génératrices polyphasées.

Le tambour induit est constitué par des tôles de fer mince isolées et crénelées. Dans le fond des dents est placé l'enroulement à haute tension, divisé en 3 parties correspondant à chacun des fils du système triphasé, et pardessus se trouve l'enroulement à basse tension formant un circuit unique. Le fond des dents est garni de fibre vulcanisée destinée à isoler les fils de la masse métallique. Afin d'éviter tout contact entre le circuit de haute tension et celui de basse tension, même dans le cas d'un défaut d'isolement d'un des 2 enroulements, ces deux circuits sont séparés par une plaque de cuivre isolée des deux côtés, mais reliée elle-même au bâti de la machine, de sorte que, si un fil vient à se dénuder d'un côté ou de l'autre, le circuit auquel il appartient se trouve mis aussitôt en courtcircuit avec la masse, et fait simplement sauter le plomb fusible correspondant, sans pouvoir endommager l'autre circuit. Comme dans toutes les dynamos Lahmeyer, les bobines du circuit à courant continu ne sont pas réunies directement aux lames du collecteur par des pièces de connexion massives en cuivre, mais par l'intermédiaire de quelques spires de nickeline *a* intercalées entre 2 séries de fils de connexion reliées, l'une *b*, aux bobines du tambour et l'autre *d* aux lames du collecteur D. Cette disposition permet de décaler les 2 séries de fils de connexion *b* et *d* et de les placer côte à côte dans un même plan vertical, ce qui évite l'enchevêtrement que l'on rencontre généralement au bout des tambours; en outre, le fil de nickeline *a* évite les étincelles aux balais, en introduisant une résistance appréciable entre les 2 bobines voisines réunies par les balais au moment de la commutation, au lieu de les mettre en courtcircuit comme dans les induits ordinaires.

Les courants triphasés pénètrent dans le convertisseur par 3 fils fortement isolés traversant un manchon protecteur en tôle perforée qui entoure complètement le collecteur à haute tension. Ces 3 fils viennent d'un tableau primaire A (fig. 3), placé contre le mur de la salle des machines à côté du convertisseur G.

Ce tableau A, représenté sur la figure 2, porte un gros interrupteur primaire tripolaire C, un coupe-circuit tripolaire D, un ampèremètre Hartmann et Braun *a* de 50 ampères à haute tension, un voltmètre Hartmann et Braun *b* de 2 200 volts, un voltmètre de 120 volts *c* branché à la sortie du circuit à courant continu du convertisseur, un ampèremètre Hartmann *d* de 400 ampères, mesurant le courant continu total débité par le convertisseur, un commutateur inverseur F

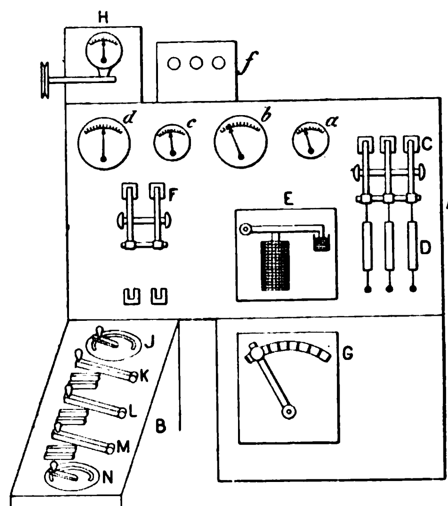


Fig. 2. — Tableau primaire.

permettant de changer le sens du courant continu envoyé dans le circuit inducteur du convertisseur, un régulateur automatique Lahmeyer E agissant sur l'excitation du convertisseur, un rhéostat à main G produisant le même effet, enfin un indicateur de phase *f* et un tachymètre H.

Les convertisseurs, comme les moteurs synchrones à courants alternatifs polyphasés, peuvent démarrer seuls. Si en effet on laisse

ouvert le circuit du tambour à courant continu du convertisseur et le circuit d'excitation et qu'on ferme simplement le circuit à haute tension du tambour sur le courant triphasé, celui-ci jouera le rôle de courant inducteur et réagira sur la masse métallique des électro-aimants formant circuit induit, et la machine se mettra en mouvement comme moteur asynchrone à induit fixe et inducteur mobile et pourra produire un couple faible, mais suffisant pour provoquer le démarrage. Lorsque la vitesse de synchronisme est atteinte, on ferme le circuit à basse tension du tambour sur l'excitation des électros, et le moteur continue à tourner en fonctionnant alors comme moteur synchrone. On s'est servi au début de ce procédé à l'aide de l'interrupteur L coupant la communication entre le circuit à basse tension du convertisseur et sa bobine excitatrice et d'un rhéostat J que l'on introduisait dans le circuit triphasé à 1 800 volts au moment de la mise en route, pour ne pas brûler l'induit à haute tension, et que l'on retirait progressivement au fur et à mesure de l'augmentation de vitesse observée au tachymètre H. On obtenait ainsi sans difficulté le démarrage du convertisseur au bout de deux minutes, mais avant d'atteindre le synchronisme les courants triphasés passant dans le convertisseur non excité atteignaient des valeurs très élevées et, par suite provoquaient brusquement une chute de tension très forte sur la ligne primaire. Il en résultait un trouble momentané dans la ville, desservie, comme nous l'avons vu, par la même ligne primaire que la gare. Les lampes baissaient brusquement, et ce qui est plus grave, les moteurs asynchrones s'arrêtaient souvent.

D'un autre côté, on se trouvait gêné aux ateliers de ne plus avoir de courant continu du tout après l'arrêt des machines, à 6 heures du soir, car l'on ne voulait pas faire marcher un gros convertisseur pour alimenter seulement quelques lampes servant à éclairer les rondes d'incendie pendant la nuit. Comme le convertisseur de la gare marche au contraire une grande partie de la nuit, on a résolu les deux difficultés du même coup en établissant entre la gare et les ateliers une petite ligne aérienne spéciale de 1,8 km de longueur, composée de 2 fils de cuivre de 10 mm de diamètre. Le convertisseur, qui sert à l'éclairage en même temps qu'à la charge des batteries de la gare, est mis en marche dans l'après-midi vers 4 à 5 heures et demie suivant la saison; on l'arrête vers minuit et demi, après la fermeture de la gare; en été on le laisse au repos jusqu'au soir, mais en hiver on le remet en marche à 4 heures du matin pour éclairer la gare pendant quelques heures. On profite de la marche du convertisseur de la gare pour envoyer, en fermant l'interrupteur M placé sur la table B (fig. 2) devant le tableau, une partie du courant continu qu'il produit dans les lampes de sécurité des ateliers, à partir de 6 heures du soir jusqu'à minuit et demi en été et en outre de 4 heures à 7 heures du matin pendant l'hiver. Le surveillant peut ainsi faire ses rondes de 8 heures, 10 heures, minuit, 5 keures du matin sans avoir besoin de laisser aucune flamme allumée dans les ateliers.

D'autre part, dans l'après-midi, au moment de la mise en route à l'usine de la gare, on fait l'opération inverse. On prévient par téléphone les ateliers et ce sont eux cette fois qui envoient à la gare le courant continu de leur convertisseur, toujours en marche dans la journée, par la petite ligne spéciale. On peut alors faire démarrer le convertisseur de la gare à la manière normale. On ouvre par l'interrupteur tripolaire A le circuit induit à haute tension du convertisseur; puis l'on envoie, en fermant les interrupteurs K et L, le courant continu des ateliers à la fois dans le circuit d'excitation et dans le collecteur secondaire à lames de l'induit. La machine fonctionne alors comme moteur shunt à courant continu et atteint une vitesse de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on diminue la résistance N intercalée dans le courant des ateliers. Lorsqu'on lit au tachymètre H une vitesse égale à celle du synchronisme, on envoie, en fermant l'interrup-

teur tripolaire C, le courant triphasé dans l'induit puis on coupe aussitôt le courant des ateliers par l'interrupteur K, en laissant fermé l'interrupteur L qui assure la communication du circuit d'excitation avec le circuit secondaire à courant continu. L'appareil étant alors amorcé continue à tourner en fonctionnant comme moteur synchrone à courants triphasés. L'indicateur de phases *f* indique si la connexion entre le circuit induit à courant continu et l'excitation est bonne ou bien doit être intervertie par le commutateur D.

Les dimanches et jours de fête, les ateliers sont fermés et ne peuvent fournir le courant continu de démarrage mais on peut, ces jours-là, mettre en marche directement, sans exciter l'inducteur, car on n'a pas à craindre de troubler les moteurs de la ville qui eux aussi sont au repos.

Le courant continu à 120 volts produit par le convertisseur est distribué par un tableau général secondaire F (fig. 3) placé dans la salle des machines E à côté du tableau primaire A B. Le courant principal se divise en 4 branchements munis chacun d'un interrupteur bipolaire. Deux branchements sont réservés pour la charge des accumulateurs et traversent un compteur Thomson ; le troisième branchement sert pour les lampes à arcs et le quatrième pour les lampes à incandescence de la gare ; la quantité d'électricité consommée par ces deux circuits de lumière est mesurée par un second compteur Thomson. Le tableau porte encore deux disjoncteurs magnétiques à rupture automatique, coupant l'un les circuits d'éclairage, l'autre les circuits de charge, si la tension aux bornes du convertisseur vient à baisser fortement, mais le tableau ne contient ni voltmètre ni ampèremètre. La tension des circuits de charge est réglée sur un tableau spécial mais on ne règle pas séparément les deux circuits d'éclairage ; on se contente de régler la force électromotrice à courant continu du convertisseur en agissant à la main sur son rhéostat d'excitation G (fig. 2) placé sur le tableau primaire A, on ne se sert pas du régulateur automatique E qui ne fonctionnait pas très bien. Ce n'est d'ailleurs que très rarement qu'il est nécessaire de toucher au rhéostat G, sauf le soir à 6 heures au moment de la fermeture des ateliers de la Compagnie et à 8 heures du soir quand on arrête les moteurs en ville. Le convertisseur a toujours très bien fonctionné et n'a demandé aucune réparation depuis qu'il est installé ; son seul défaut est de « chanter », c'est-à-dire de produire un son aigu peu agréable dû aux vibrations magnétiques des tôles de l'induit.

L'un des branchements de charge aboutit directement à une petite planchette *q* (fig. 3) fixée dans la salle de charge et servant à la charge des accumulateurs sur les fourgons. Cette planchette porte simplement un interrupteur et deux prises de courant sur lesquelles on emmanche deux câbles souples α reliés au fourgon Q garé sur une voie extérieure V_1. A l'usine de Bienne on charge très peu de batteries sur les fourgons, à l'exception des accumulateurs du poste de Bâle.

Le second branchement de charge se rend dans un tableau de charge M placé dans la salle des machines E vis-à-vis des tableaux principaux. Ce tableau de charge, identique à celui de Fribourg, permet de régler le courant dans 12 circuits de charge distincts. Ces 12 circuits sont réunis en 3 groupes de 4 circuits sur 3 planchettes H_1 H_2 H_3 munies d'interrupteurs et fixées derrière le tableau, dans la salle de charge D.

Les groupes de circuits H_1 et H_2 alimentent les 2 bancs de chargement I et II de 20 batteries, à 4 circuits de 5 batteries. Ces bancs de chargement à 2 étages sont construits de la même manière que ceux de Fribourg, que nous avons décrits dans notre précédent article, mais ils sont fixes et les 20 batteries sont placées à la file sur un seul chevalet au lieu d'être mises sur 2 chevalets accolés, moitié moins longs.

La manutention des boîtes à accumulateurs se fait comme à Fribourg à l'aide d'une grue à main pouvant circuler sur les chemins de roulement tt, r_1 r_2 r_3.

Jusque dans ces derniers temps le groupe de circuits H_3 était divisé en 2 parties desservant chacun un chariot de chargement de 10 batteries K_1 et K_2. Une certaine quantité de batteries rassemblées en gare étaient mises sur les chariots et amenées par un raccordement de la gare sur 2 des 3 voies normales intérieures de l'usine V_2 V_3 V_4 où on les chargeait sur les chariots mêmes. Ceux-ci portaient à cet effet un tablier plat muni de 10 compartiments à contacts semblables à ceux des bancs de chargement, et formant 2 circuits de 5 batteries reliées à 2 des circuits du groupe H_3 par 4 câbles souples. Les chariots étaient ensuite ramenés en gare lorsque les batteries qu'ils portaient étaient chargées.

Depuis qu'on a installé une voie Decauville spéciale T_1 reliant la gare à l'usine, on ne fait plus usage de ces chariotsde charge. On a mis un 3ᵉ banc fixe III de 20 batteries, à 4 circuits, au milieu des bancs I et II, et là on a établi contre les bancs 2 raccordements T_2 et T_3 de la voie Decauville. Toutes les boîtes d'accumulateurs arrivent à présent à l'usine par ces 2 raccordements sur de petits chariots très légers portant 5 batteries que l'on enlève et pose sur l'un ou l'autre des 3 bancs de chargement I, II, III.

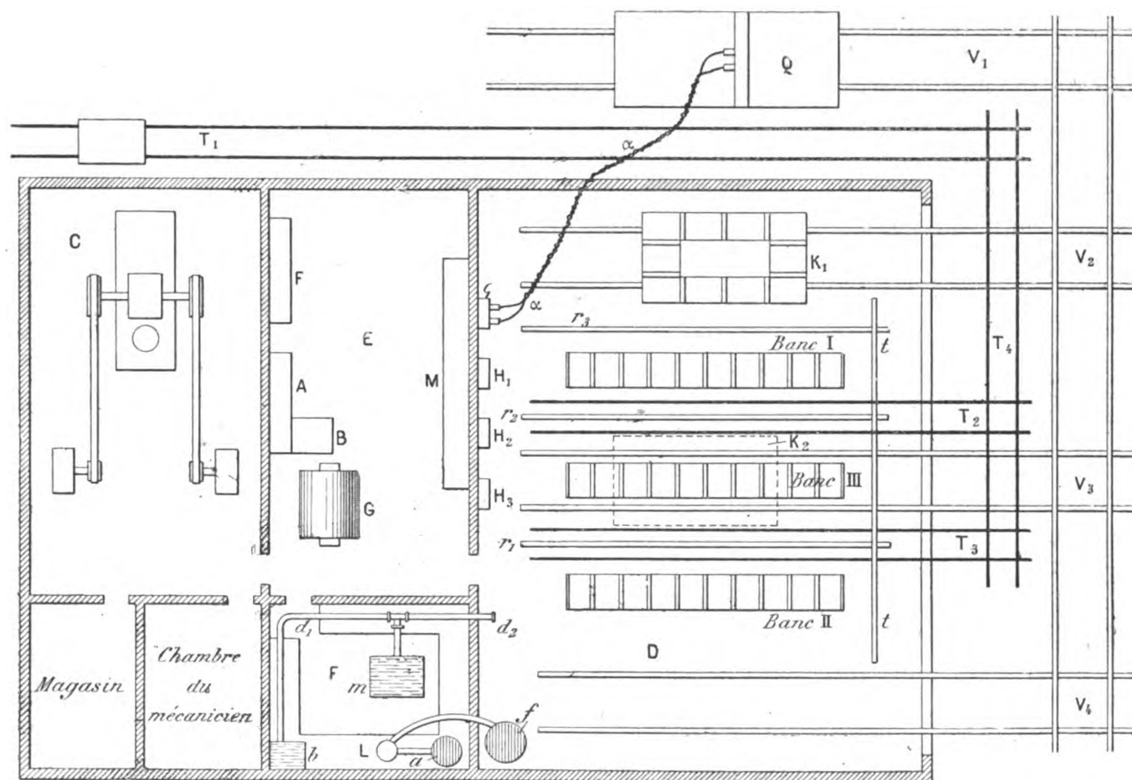


Fig. 3. — Plan de l'usine de charge de Bienne.

A côté de la salle des machines E et de la salle de charge D se trouve un local très petit F servant d'atelier. On y trouve comme à Fribourg un réservoir *a* contenant de l'air sous une pression de 10 cm d'eau, sur le sol une grande cuve *m* en bois doublé de plomb, et sur une étagère un réservoir d'eau acidulée *b* d'où part un tuyau d_1 faisant le tour de l'atelier et une autre conduite d_2 se rendant à la salle de charge D. On rencontre de plus dans l'atelier un tuyau amenant à l'unique lampe à chalumeau L l'hydrogène produit dans un générateur *f* posé sur le sol, dans le coin voisin de la salle de charge D. Ce géné-

rateur *f*, qui n'est autre chose qu'un briquet à hydrogène, se compose d'un réservoir en bois doublé de plomb, de 40 cm de diamètre et 90 cm de hauteur, rempli d'eau légèrement acidulée à l'acide sulfurique, et au fond duquel est posé sur des pieds un petit panier en plomb coiffé par une grande cloche en plomb munie d'un robinet et plongeant dans le liquide. Les jours où l'on a besoin d'hydrogène pour le chalumeau il suffit de mettre le matin quelques kilogrammes de rognures de feuilles de zinc dans le panier ; on n'a plus besoin de toucher ensuite au générateur qui produira de l'hydrogène au fur et à mesure de la consommation jusqu'à usure complète du zinc, soit pendant plusieurs heures ; le réglage se fera automatiquement, c'est-à-dire que pendant les périodes d'arrêt la pression du gaz dans la cloche refoulera le liquide au dehors du panier et arrêtera ou du moins ralentira beaucoup l'attaque du zinc. Ce petit appareil, construit par la Société d'Œrlikon, est très simple et très commode. Il ne coûte que 130 francs et donne le moyen de réaliser très économiquement un chalumeau à flamme oxhydrique permettant de faire la soudure autogène au plomb beaucoup plus facilement qu'avec les lampes à souder à benzine et air soufflé.

L'installation de petits ateliers de réparation dans les usines de charge de Fribourg et de Bienne est toute récente. De 1889 à 1896 l'entretien des batteries, c'est-à-dire les réparations de toutes les parties des boîtes à accumulateurs, y compris les plaques, était effectué à forfait par la Société de Marly, moyennant une redevance annuelle de *25 fr par batterie*. Cette Société ayant son usine dans un village touchant Fribourg, envoyait lorsque cela était nécessaire un de ses ouvriers travailler dans un local mis à sa disposition par la Compagnie du Jura-Simplon, dans les ateliers de Fribourg. Le personnel du chemin de fer se bornait à charger les batteries et à les remettre entre les mains des ouvriers de Marly lorsqu'elles ne fonctionnaient plus bien. Mais à ce moment le personnel du Jura-Simplon ne comprenant pas de techniciens, on n'examinait pas les accumulateurs tant qu'ils semblaient marcher à peu près convenablement et on ne les envoyait en réparation que lorsque la tension était tombée brusquement à zéro. A ce moment les plaques se trouvaient tout à fait détériorées et exigeaient une grande réparation, qui aurait pu être évitée si l'on avait visité et remis en état l'accumulateur dès qu'il commençait à faiblir. Malgré ces conditions défavorables, la Société de Marly ne perdit à ce marché que dans les premières années, lorsque le nombre des batteries en service était faible, et en tira même vers la fin un certain bénéfice, car, à l'expiration du traité en août 1896, elle offrit d'abaisser le prix d'entretien de 25 fr à *23 fr par batterie et par an*.

D'après l'expérience acquise pendant sept ans, la Compagnie du Jura-Simplon estima, à ce moment, qu'avec son effectif de 650 batteries il était plus avantageux pour elle d'entreprendre elle-même l'entretien et la réparation de ses accumulateurs, qui à forfait lui auraient coûté 16 250 fr. Aussi ne fit-elle aucun traité avec la Société d'Œrlikon et ne renouvela-t-elle pas celui de la Société de Marly. Malgré le peu de temps de fonctionnement des ateliers de réparation de Fribourg et de Bienne, l'ingénieur en chef, M. Weyermann, est très satisfait de cette nouvelle organisation et nous a dit que les premiers relevés de dépenses faisaient prévoir une économie sensible sur l'ancien système. Cela se conçoit car la pratique industrielle des accumulateurs a démontré que l'on peut éviter la plus grande partie des réparations importantes et coûteuses si l'on prend soin des accumulateurs et si on les répare dès qu'un petit défaut se manifeste, ce qui se fait à présent au Jura-Simplon.

La Compagnie s'est attaché un ingénieur-électricien qui dirige et surveille l'ensemble du service d'éclairage. Elle a adjoint également aux deux mécaniciens de l'usine de Fribourg, deux ouvriers pour la réparation des

accumulateurs et un contremaître électricien chargé de la surveillance de tous les ouvriers de la sous-station; à Bienne, où l'on ne peut faire beaucoup de réparations, faute de place, on n'a pris qu'un ouvrier supplémentaire. Depuis que ce nouveau service fonctionne, la charge des batteries se fait d'une façon beaucoup plus régulière qu'auparavant. L'entrée et la sortie de toutes les boîtes d'accumulateurs sont inscrites sur un registre spécial où l'on note toutes les opérations effectuées dans l'usine. Lorsqu'on voit sur le registre qu'on n'a pas remis de liquide dans les bancs depuis longtemps, on regarde le niveau du liquide, simplement en dévissant les cheminées de dégagement des gaz en ébonite, vissées sur les couvercles en ébonite, puis l'on prend avec une pipette une petite quantité d'eau acidulée que l'on mesure au densimètre dans une éprouvette étroite. Si le niveau du liquide est abaissé et ne baigne plus le haut des plaques, mais que la densité soit restée normale, c'est-à-dire de 19° Baumé (1,14 à 1,15), on rajoute simplement de l'eau acidulée fraîche. Si la densité s'est écartée de la moyenne, on la ramène à la valeur convenable par des soutirages et des remplissages d'eau pure et d'eau acidulée fraîches. Ces petites manipulations se font dans la salle de charge même.

Après la fin de *chaque charge* on mesure séparément, au moyen du voltmètre à commutateurs des bancs de charge, la force électromotrice de *chaque boîte* d'accumulateurs ; elle doit être pour les 9 éléments en tensions de 19 volts. Si la tension est inférieure à ce chiffre, c'est l'indice d'un défaut dans un accumulateur de la batterie, accumulateur que l'on isole en mesurant séparément à l'aide d'un voltmètre spécial de précision de 5 volts chacun des 9 éléments de la batterie. L'accumulateur qui donne une tension inférieure à 2,1 volts est démonté et examiné dans la salle d'atelier de l'usine. S'il s'agit d'un courtcircuit accidentel, on vide le bac dans la cuve, on défait les plaques, on les brosse, on les remonte, puis on remet de l'acide neuf dans le vase. Si l'accumulateur est sulfaté, on le désulfate par une série de charges prolongées suivies de décharges modérées.

Les plaques négatives s'usent peu ; les plaques positives au contraire se détériorent beaucoup plus vite. Les pastilles des accumulateurs de Marly ou d'Œrlikon étant très petites, il est rare que le cadre se déforme malgré sa faible épaisseur, mais c'est la matière active qui se détache et réduit la capacité de l'élément. Les plaques qui se trouvent dans cet état sont détachées, par coupure, de la lame de connexion et remplacées par des plaques neuves que l'on ressoude à la soudure autogène en coulant du plomb dans une rigole en tôle formant un moule de forme appropriée. Cette opération se fait dans l'usine de charge à l'aide des chalumeaux à benzine ou à hydrogène dont nous avons parlé. Les plaques neuves sont achetées par la compagnie toutes préparées et toutes formées aux sociétés de Marly et d'Œrlikon qui reprennent les plaques détériorées comme vieux plomb et font payer 0,70 par plaque. Pour démonter un seul élément, il est nécessaire, comme nous l'avons vu précédemment, d'enlever le couvercle qui recouvre les 3 compartiments d'un bac et de dessouder ou couper la moitié ou même toutes les connexions reliant des éléments entre eux ; aussi, lorsque dans une boîte on doit faire une réparation à l'un des accumulateurs on profite de l'occasion pour sortir les plaques des 2 autres éléments, les laver et les remettre dans du liquide neuf. C'est ce qu'on appelle faire la *révision* du bac. Quand les 3 éléments de ce bac sont remis en service on poche en rouge sur la boîte protectrice en bois la date de la revision en face du bac examiné; la boîte porte ainsi 3 marques correspondant aux 3 bacs composant la batterie. Lorsqu'on remarque un bac portant une date de révision vieille de plus de 6 mois, on en fait la revision d'office, c'est-à-dire qu'on sort les plaques des 3 éléments et qu'on remplace l'eau acidulée par du liquide neuf.

Une précaution importante à prendre, c'est

de nettoyer tous les jours avec un chiffon et du papier de verre les lames de contact en laiton des chevalets placés dans la salle de charge, et de faire la même opération aux bandes de contact en laiton fixées sous les boîtes d'accumulateurs, à chaque entrée et à chaque sortie des batteries dans l'usine, et aussi aux contacts des étagères des fourgons chaque fois que ceux-ci reviennent à la station de chargement. Nous avons déjà vu que l'on nettoie également les contacts des coffres fixes des voitures à chaque changement de batterie. Toutes ces précautions sont indispensables si l'on veut obtenir de bons contacts pendant la charge à l'usine et, ce qui est plus important, pendant la décharge sur les voitures.

Les ruptures des bacs en ébonite sont très rares, heureusement, car le remplacement d'un bac à 3 compartiments coûte 30 francs. Quant aux boîtes protectrices en bois on n'a jamais à y faire que de menues réparations.

Il nous reste à dire quelques mots, pour terminer, des dépenses de premier établissement et d'exploitation causées par l'éclairage électrique des voitures. Les accumulateurs sont vendus, soit par Marly soit par Œrlikon, au prix de 300 fr. par batterie de 9 éléments de 125 ampères-heure. Ce prix est peu élevé, pour la puissance fournie, d'abord parce que la batterie est composée d'un petit nombre d'éléments réunis en une seule boîte et ensuite parce que l'épaisseur des plaques est relativement faible. Il est à remarquer que, sur ces 300 fr., 30 sont déjà pris rien que par les bacs en ébonite.

La dépense totale de premier établissement des accumulateurs est en outre relativement faible parce que les batteries sont bien utilisées. En Suisse, les autorités fédérales ont interdit les trains de nuit proprement dits : aucun train ne doit circuler après minuit et beaucoup ont terminé leur parcours à 9 ou 10 heures du soir; le rechargement des accumulateurs étant effectué complètement en 9 heures, on a rarement besoin de mettre une autre batterie sur une voiture pendant qu'on charge celle qui a été enlevée. En effet, si l'on tient compte de ce que 85 véhicules ont 2 batteries, on trouve que le matériel à voyageurs du Jura-Simplon correspond à 425 coffres à accumulateurs dont on assure le service avec 675 batteries, c'est-à-dire avec un excédent de seulement 250 batteries, soit environ 50 p. 100 ce qui est une proportion très faible, si l'on considère qu'une partie de cet excédent joue le rôle de réserve permanente conservée par mesure de prudence, mais sans laquelle on pourrait néanmoins faire le service régulier des accumulateurs.

Quant au prix de premier établissement des canalisations, coffres et autres appareils fixes des voitures, on ne peut le donner exactement, car il varie du simple au double suivant le type de voiture considéré, qui peut porter 1 ou 2 coffres à accumulateurs et un nombre très variable de porte-lampes; mais on peut dire d'une manière générale qu'étant donnée la capacité en voyageurs des voitures du Jura-Simplon, l'installation des appareils fixes y est économique, grâce au nombre relativement petit de lampes éclairantes et à la facilité de montage permise par le mode de construction des véhicules. Seules les lampes à incandescence coûtent relativement cher en raison de leur bas voltage, 2,50 fr. pièce; aussi les laisse-t-on brûler jusqu'à ce qu'elles soient rompues, sans s'inquiéter de la diminution de lumière qui se produit à la fin de leur « vie », qui est rarement inférieure à 300 heures, dépasse souvent de beaucoup ce chiffre et atteint même quelquefois 600 à 700 heures.

Plutôt que de nous donner des chiffres fantaisistes ou établis partialement, M. Weyermann nous a déclaré ne pouvoir nous indiquer le prix de revient exact de l'éclairage électrique. En effet, la manipulation des batteries, la surveillance des lampes et l'entretien de l'installation fixe des voitures étant effectués par des agents occupés la plus grande partie du temps à d'autres travaux, il est évidemment très difficile de déterminer la part

de dépense à porter au compte éclairage électrique. Il est également peu aisé de déterminer parmi les dépenses de main d'œuvre et d'amortissement dans les usines de charge, quelle portion doit être affectée à l'éclairage des voitures, puisque les usines fournissent en même temps l'éclairage d'autres locaux, gare ou ateliers. Toutefois on se rend très bien compte, d'après la description de l'installation, que ces diverses dépenses sont peu onéreuses au Jura-Simplon.

L'entretien des accumulateurs, facteur qui contient généralement le plus d'aléa, ne cause ici que des dépenses très modérées. On peut en effet admettre que l'entretien des batteries par la Compagnie ne coûtera pas plus cher que l'entretien à forfait accepté par la Compagnie de Marly pendant 7 ans, c'est-à-dire 25 fr *par batterie et par an*. En supposant, ce qui est au-dessous de la réalité, qu'une batterie alimente en moyenne 4 lampes de 10 bougies pendant 1 000 heures chaque année, l'entretien des accumulateurs coûterait seulement 0,0031 fr. par lampe-heure de 10 bougies.

Enfin, le prix du générateur de lumière, qui est dans le cas présent du courant électrique, présente un bon marché extrême comparé au gaz riche qui, produit par les Compagnies mêmes de chemins de fer, revient environ à 0,60 fr le mètre cube. Les usines hydrauliques de Fribourg et de Bienne fournissent, en effet, le courant mesuré aux compteurs des sous-stations au prix excessivement bas de 0,05 fr. par cheval-heure, soit 0,067 fr. le kilowatt-heure. Même en majorant beaucoup ce prix, pour tenir compte du rendement des convertisseurs et des accumulateurs, la dépense de 30 watts nécessaires pour alimenter une lampe de 10 bougies reste encore insignifiante comparée à la dépense de gaz d'huile brûlé (30 litres environ) dans une lampe à récupération de même puissance.

A défaut de chiffres précis, le seul point important à considérer est l'opinion de M. Weyerman que l'éclairage électrique des voitures du Jura-Simplon revient *notablement moins cher* par l'électricité que par l'huile.

Mais ce serait s'avancer un peu trop que d'en conclure d'une manière générale que les Compagnies françaises de chemins de fer peuvent obtenir un résultat aussi satisfaisant que le Jura-Simplon. Sauf dans des cas particuliers, nous croyons qu'il est difficile de réaliser sur les réseaux français l'éclairage électrique à un taux aussi bas qu'au Jura-Simplon. Cette Compagnie se trouve, en effet, il faut insister sur ce point, dans des conditions exceptionnellement avantageuses, que nous ne retrouvons pas en France. Nos réseaux ont une étendue énorme par rapport aux réseaux suisses; on peut se faire une idée, par les précautions minutieuses prises au Jura-Simplon pour que le personnel de la Compagnie ne fasse aucune fausse manœuvre dans la manipulation de 650 batteries provenant de 2 centres de distribution seulement, de la complication qu'entraînerait le maniement d'au moins 5 000 batteries et plus que l'on serait forcé certainement de répartir dans plus de 2 usines de charge. Une pareille complication conduirait forcément à des excédents de dépenses. Il en est un peu de cette question comme de celle des communications téléphoniques; à partir d'une certaine valeur, vite atteinte, l'exploitation du système est d'autant plus difficile et coûteuse que le réseau est plus étendu.

Il serait rarement possible, dans les divers centres de charge établis sur un grand réseau de trouver du courant tout créé à un prix aussi minime qu'au Jura-Simplon: il faudrait donc installer un coûteux matériel générateur à vapeur ou à gaz. De plus, les centres étant beaucoup plus éloignés qu'en Suisse, le transport des batteries des postes de charge aux points de rechargement causerait une dépense de temps et d'argent beaucoup plus considérable. En Suisse où les arrêts dans les grandes gares sont de 8 à 10 minutes, même pour les express, on a le temps de manipuler des batteries un peu lourdes, mais en France où les arrêts des express sont très courts et où les gares sont

très encombrées, des boîtes d'accumulateurs pesant 130 kgs seraient beaucoup trop lourdes à manier; il faudrait donc diviser la batterie en 2 boîtes, ce qui en augmenterait légèrement son prix. Celui-ci se trouverait probablement encore augmenté pour une autre cause : la vitesse des trains sur les réseaux suisses est toujours très modérée, tandis qu'elle atteint couramment en marche normale 80 à 90 km en France. Il n'est pas certain que les plaques relativement minces employées au Jura-Simplon pourraient résister aux trépidations causées par ces grandes vitesses; il faudrait peut-être prendre des plaques beaucoup plus robustes et coûtant par suite beaucoup plus cher. Enfin les grands express circulent en France toute la nuit et en général toutes les « rames » ou convois de voitures composant les trains ont une circulation beaucoup plus intense et ont des repos généralement moins prolongés qu'en Suisse; on n'aurait donc pas toujours le temps de recharger les batteries épuisées pendant le stationnement de la rame et l'on serait conduit à prendre en réserve une proportion d'accumulateurs beaucoup plus forte. D'autre part, ces batteries devraient être plus puissantes qu'en Suisse, d'abord parce que les centres de rechargement seraient plus éloignés et ensuite parce que les voyages étant beaucoup plus longs, il faudrait réaliser un progrès sur l'état actuel de l'éclairage au gaz, fournir dans les compartiments une intensité lumineuse plus considérable qu'au Jura-Simplon, où l'on a surtout pour but de fournir un éclairage général satisfaisant plutôt qu'une source de lumière permettant aux voyageurs de faire de longues lectures. L'obligation d'installer un nombre de lampes plus grand par voiture, non-seulement augmenterait le prix de la batterie, mais aussi celui du montage des appareils fixes des véhicules. Les frais d'amortissement, on le voit, contribueraient donc autant que les frais d'exploitation à augmenter le prix de revient de l'éclairage.

Tout ce que nous venons de dire s'applique spécialement à l'hypothèse de l'éclairage d'une fraction importante de l'effectif des grands réseaux de chemins de fer. Mais lorsque les applications de l'éclairage électrique sont restreintes à des cas particuliers répondant à des conditions favorables d'exploitation, beaucoup de difficultés se trouvent amoindries et ce mode d'éclairage peut alors très bien triompher de ses concurrents.

CH. JACQUIN.

TRAVAUX DE L'ASSOCIATION BRITANNIQUE [1]

Nous devons aux lecteurs de *L'Éclairage* le complément de notre compte rendu des travaux de l'Association britannique que nous avons été jusqu'ici dans l'impossibilité de terminer. Nous pouvions d'ailleurs espérer que dans l'intervalle des commentaires intéressants seraient apportés à l'une des communications qu'il nous reste à analyser. En effet, le mémoire de M. PREECE sur les

PERTURBATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES CABLES SOUS-MARINS

ne tendait à rien moins, dans ses conclusions, qu'à une révolution dans l'industrie des câbles. Malgré la singularité du mode de raisonnement adopté par M. Preece et malgré l'intérêt que ce sujet paraîtrait devoir susciter, particulièrement parmi les électriciens télégraphistes anglais, la discussion de cette question a reçu fort peu de développement [1].

[1] La maladie qui avait, pendant de longs mois, réduit M. Hess à l'inaction avait empêché notre collaborateur de nous donner plus tôt la fin de son article. Voir *l'Éclairage Électrique*, t., X, p. 153.

[1] Voir « Sur les câbles téléphoniques sous-marins », par A. BARBARAT, *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 356, 21 août 1897.

L'auteur s'occupe d'abord des effets d'induction mutuelle observés entre les conducteurs de plusieurs câbles anglo-allemands à âmes multiples. Voici les constantes des câbles posés entre les comtés de Suffolk et de Norfolk et les îles allemandes :

POINTS D'ATTERRISSEMENT	DATE de l'immersion.	LONGUEUR en kilomètres.	CAPACITÉ en microfarads.	RÉSISTANCE en ohms.	PRODUIT CR
Lowestoft-Nordeney	1866	415	73,1	2710	198 100
Lowestoft-Borkum	1871	415	66	2666	175 950
Bacton-Borkum	1891	390	63	2380	149 940
Bacton-Borkum.	1896	415	84	1500	126 000

C'est principalement sur le câble Bacton-Borkum, posé en 1891, que l'induction mutuelle entre les différentes âmes s'est fait sentir d'une façon très désavantageuse pour la transmission télégraphique. Ce câble est du type ordinaire à 4 âmes du Post-Office, dont la section est représentée par la figure 1. Lorsque sur l'un des conducteurs on transmettait à l'aide du Wheatstone automatique, l'induction exercée sur les autres conducteurs fonctionnant avec le Hughes y produisait des perturbations d'autant plus sérieuses que la vitesse de transmission était plus grande. Les résultats d'expériences ci-dessous en donnent un aperçu :

Transmission à la main	(30 mots par minute),	effet	négligeable
» automatique	(40 » »),	»	distinct
» »	(50 » »),	»	sérieux
» »	(70 » »),	»	prohibitif.

Le remède apporté à ces conditions de mauvais fonctionnement a consisté, dans le nouveau câble de 1896, à entourer chaque âme d'une hélice de ruban en laiton. Par ce moyen on annule totalement l'induction électrostatique et l'on obtient en même temps une protection efficace contre les attaques de certains mollusques qui percent la gutta-percha. La transmission sur ce câble est bien meilleure que sur les anciens ; il est vrai que son produit CR est, d'autre part, plus petit.

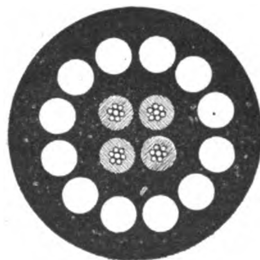


Fig. 1. — Câble à quatre âmes du type ordinaire du Post-Office.

L'auteur indique la durée d'établissement du courant nécessaire pour actionner un relais réglé normalement; ce nombre, de 0,0513 seconde pour le câble de 1891, a été abaissé à 0,045 seconde pour celui de 1896.

Pour la transmission téléphonique, la question est en ce sens différente que l'emploi de circuits entièrement métalliques et par conséquent de deux conducteurs du câble pour un même circuit est seul admissible. L'induction mutuelle est alors assez facile à vaincre par un groupement judicieux des conducteurs, de manière que les effets induits par un circuit étranger dans les deux brins d'une même boucle se neutralisent, ou ce qui revient au même, de manière que les causes inductrices dues aux deux brins de chaque boucle se compensent.

Là n'est donc pas la difficulté principale ; l'obstacle non encore surmonté qui s'oppose à l'heure actuelle à la transmission téléphonique sur longs câbles sous-marins réside

dans la déformation que les valeurs relatives désavantageuses des différentes constantes électriques du câble font éprouver aux courants de transmission par rapport à la force électromotrice.

Après les travaux de Heaviside et de Vaschy, on pouvait croire la question suffisamment élucidée au point de vue théorique pour qu'il n'y eût plus de doute sur les éléments qu'il s'agit de modifier afin de s'approcher de la solution. Le travail de M. Preece doit donc attirer l'attention parce que ses résultats paraissent opposés aux conclusions de ces auteurs.

Pour ne pas nous exposer à rendre infidèlement la pensée de l'auteur, nous reproduisons ici littéralement son raisonnement. Après avoir rappelé que l'énergie emmagasinée grâce à la capacité et à l'induction magnétique produit la retardation, tandis que l'énergie dissipée dans la résistance réduit le rendement, M. Preece dit :

« On doit considérer soigneusement dans quels sens agissent les différentes forces perturbatrices, car il peut se faire qu'elles soient opposées les unes aux autres et dirigent l'énergie dans sa voie primitive sous des conditions modifiées et plus favorables. Ainsi, si l'effet du champ électrostatique est entièrement neutralisé par celui du champ électromagnétique, l'énergie totale développée est dépensée dans le circuit lui-même, les perturbations sont éliminées et le service amélioré. C'est le cas d'un circuit métallique ayant un transmetteur microphonique à une extrémité et un téléphone récepteur à l'autre. La capacité d'un tel système tendra à emmagasiner une partie de l'énergie de chaque courant, mais l'induction électromagnétique tendra à suppléer la perte. Si les deux fils de la boucle sont très écartés, l'influence de l'induction mutuelle sera beaucoup moindre que celle de la capacité. A mesure qu'ils se rapprochent, l'induction électromagnétique doit augmenter plus rapidement que l'induction électrostatique, jusqu'à ce que finalement, à la limite où il y a coïncidence, l'une doit exactement neutraliser l'autre. On s'en rend peut-être mieux compte en considérant le cas d'un câble concentrique; car, dans ce cas, le nombre de lignes de force électrique n'augmente pas dans le même rapport que le nombre de lignes de force magnétique, à mesure que le conducteur extérieur s'approche du conducteur intérieur. L'induction maxima due à chaque cause doit se produire quand les deux conducteurs sont infiniment près l'un de l'autre, et ce maximum doit égaler le courant primaire, car il ne peut l'excéder qu'à moins de nouvelle création d'énergie. Ainsi donc, à mesure que la couche diélectrique devient de plus en plus mince, les deux effets s'égalisent de plus en plus, jusqu'à ce que, au contact absolu, ils s'annulent. Si ces conditions seules interviennent, le résultat doit être la diminution de la constante de temps et son annulation à la limite avec la distance entre les deux conducteurs. »

Des expériences faites avec un câble concentrique ayant montré que le défaut de symétrie de la capacité des deux conducteurs par rapport à la terre est préjudiciable, M. Preece considère finalement la forme plus symétrique représentée par la figure 2, et il en arrive à donner comme solution pratique du problème le type de câble que montre la figure 3. Il comprend quatre paires de conducteurs. Ceux-ci sont d'abord isolés au papier, puis avec une couche de gutta-percha; les deux conducteurs de chaque âme ne sont séparés que par une mince couche de papier. Le câble est armé de la manière habituelle.



Fig. 2.

Avec un câble de ce modèle, M. Preece pense pouvoir établir une communication téléphonique entre l'Angleterre et l'Allemagne;

mais il propose d'établir auparavant une courte longueur de câble expérimental allant à l'île de Wight.

Le même raisonnement s'applique à la télégraphie et, s'il est correct, doit amener une transformation radicale du type actuel de câble transatlantique.

Sans vouloir prendre parti dans une controverse de cette envergure, rappelons ici quels sont, suivant les auteurs qui ont traité la question en tenant compte de la self-induction, les relations à considérer. Ces relations déterminent la grandeur de la déformation

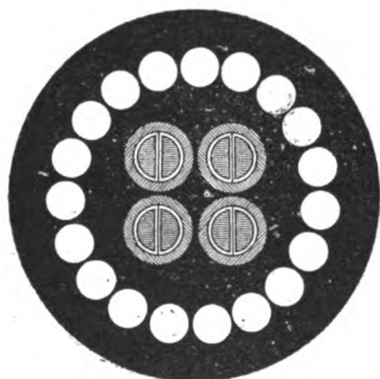


Fig. 3. — Coupe du câble proposé par M. Preece.

que subissent les ondes de courant, ainsi que l'affaiblissement qu'elles éprouvent.

Le premier de ces facteurs, très important en téléphonie, la déformation, est le plus difficile à éviter. Suivant Heaviside, il dépend de la différence

$$\frac{R}{L} - \frac{K}{C},$$

tandis que l'affaiblissement dépend de la somme

$$\frac{R}{L} + \frac{K}{C}.$$

K désignant la conductance du diélectrique. Dans les câbles actuels, le premier terme de ces expressions est très grand par rapport au second ; on ne peut donc faire tendre la première vers zéro qu'en augmentant L et K et diminuant R et C. Pour ces deux dernières constantes, résistance et capacité, on est allé aussi loin que pratiquement possible ; lorsque l'isolement d'air aura remplacé partiellement la gutta-percha, on aura atteint la limite inférieure pratique de la capacité. Quant à la résistance, on ne peut la diminuer beaucoup plus en augmentant le diamètre des conducteurs, parce qu'il faut que le câble reste maniable, et parce que si le diamètre extérieur reste le même, la capacité augmente avec le diamètre du conducteur.

Il reste donc à augmenter soit la self-induction L, ou la conductance K de l'isolant. Ce dernier moyen a été souvent préconisé, mais la seconde expression indiquée plus haut montre immédiatement qu'on ne saurait rendre le diélectrique du câble plus conducteur sans affaiblir le courant de transmission, ce qui est d'ailleurs évident. La self-induction, au contraire, peut être augmentée sans que le courant en soit affaibli, elle tend même à en augmenter l'amplitude.

En résumé : Diminuer C et augmenter R. Or, le nouveau câble (fig. 2) de M. Preece présente une disposition de conducteurs telle que la capacité est maxima et la self-induction minima. Il est donc permis d'attendre avec curiosité les résultats d'un essai de réalisation de ce câble.

Les autres communications d'un caractère industriel ne présentent pas un intérêt très considérable.

M. Anderson a eu la faculté d'étudier deux *ponts roulants*, l'un électrique, l'autre à vapeur, travaillant côte à côte, dans une fonderie, depuis une dizaine d'années. Une étude faite dans ces conditions pratiques ne peut conduire qu'à des résultats concluants ; or, M. Anderson se prononce nettement, pour une foule de raisons, qu'il énumère, en faveur de la force motrice électrique.

M. Cottrell, après avoir décrit le *chemin de fer électrique de Liverpool*, donne quelques renseignements sur le nouveau tronçon de ligne actuellement en construction. Au point de vue électrique, notons le moyen employé pour assurer l'éclairage temporaire des trains au passage dans un tunnel : sur les voitures

sont fixés des collecteurs de courants qui viennent en contact avec des conducteurs aériens suspendus à la voûte du tunnel. Ces conducteurs sont alimentés par une batterie d'accumulateurs qui pourrait assurer l'éclairage du train si celui-ci stoppait sous le tunnel par suite d'un arrêt accidentel de l'alimentation directe.

Nous reproduisons dans la figure 4 la courbe très intéressante de la puissance électrique consommée à chaque instant par un train. On voit que, malgré la mise en vitesse très rapide nécessitée par les départs fréquents et les arrêts de courte durée, les maxima de démarrage n'ont rien d'exagéré.

En ce qui concerne le trafic sur cette ligne, il n'y a pas de changement notable à enregistrer par rapport aux années précédentes. On remarque, toutefois, que les dépenses par train-kilomètre ont une légère tendance à augmenter. Voici, d'ailleurs, le détail des dépenses de traction rapportées au train-kilomètre et au kilowatt-heure, pour le premier semestre de 1896:

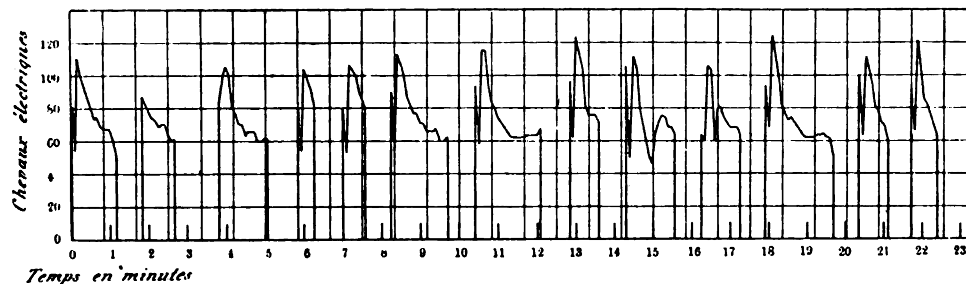


Fig. 4. — Courbe de la puissance électique dépensée par un train.

Il a été consommé 5,15 kg de charbon par train-kilomètre, et 1,93 kg par kilowatt-heure. Les dépenses se répartissent ainsi :

	Par train-km Cent.	Par kw-h Cent.
Station centrale :		
Charbon	3,20	1,21
Cendres	0,10	0,03
Salaires	5,00	1,85
Divers	1,07	0,41
Réparations :		
Matériaux . . .	2,77	1,04
Salaires	2,10	0,78
Personnel de la traction :		
Salaires	8,00	3,02
Totaux . .	22,24	8,34

On voit que le prix de revient du kilowatt-heure ne dépasse pas 3,5 centimes, et comme les dépenses de station centrale représentent 42 p. 100 des frais de traction, on conçoit que cette production économique de l'énergie influe très avantageusement sur les résultats de l'exploitation.

M. W.-G. Walker a donné quelques indications sur un cas d'application des lampes à incandescence à l'éclairage public. Il s'agit de lampes de 25, 35 et 100 bougies montées en tension. Le dispositif employé pour le remplacement automatique des lampes usées par des résistances équivalentes sans déranger les autres lampes n'est pas nouveau en principe : les lampes sont groupées par deux en dérivation et ces groupes sont réunis en tension ; dans le circuit de chaque lampe est un électro-aimant, lequel attire son armature quand le courant double par suite de la rupture de la lampe associée ; l'établissement d'un contact dérive l'excès de courant dans un shunt de résistance égale à celle de la lampe.

Il paraît que cette commutation automatique se fait sans amener même un trouble instantané dans la lumière ; c'est ce qu'il fallait démontrer pratiquement.

Les travaux scientifiques, dont quelques-uns ont été analysés au début de cet article,

s'occupent pour la plupart des rayons Rœntgen. Une revue de ces travaux viendrait un peu tardivement, ce sujet ayant reçu depuis de nouveaux développements dont il a été rendu compte dans ce journal.

Mais les résultats obtenus récemment par M. Marconi dans des expériences de télégraphie sans fils [1] refont des *ondes électromagnétiques* un sujet d'actualité. La possibilité de transmettre des signaux à distance à l'aide des ondulations hertziennes dépend en grande partie de la sensibilité de l'appareil récepteur. On sait que comme détecteur d'ondes M. Marconi emploie ce que le professeur Lodge a appelé un cohéreur.

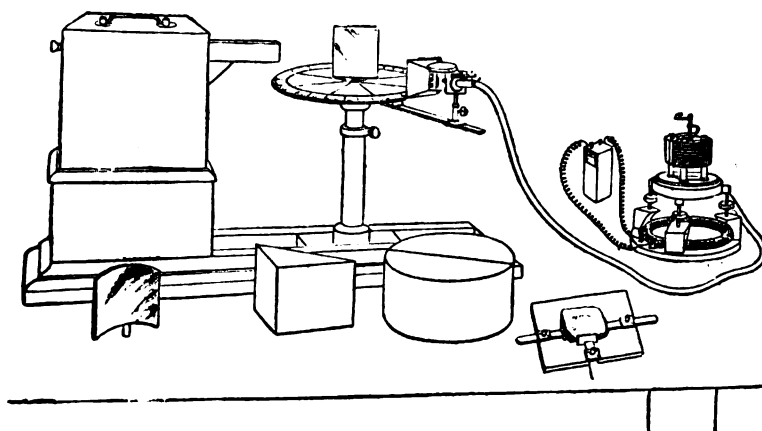


Fig. 5. — Appareil Bose disposé pour l'étude de la réflexion et la réfraction des ondes électriques.

Or, M. Chunder Bose a présenté l'année dernière un ensemble d'appareils dans lequel le détecteur d'ondes est également un cohéreur, constitué dans ce cas par un amoncellement de petits ressorts spirals dont les multiples points de contact changent de résistance sous l'influence des ondes. Cet appareil a été décrit à l'occasion de sa présentation à la Société de Physique [1]. Nous n'en donnerons donc ici que les dessins (fig. 5 et 6), représentant, l'un l'appareil servant pour la démonstration de la réflexion et de la réfraction des ondes, l'autre l'appa-

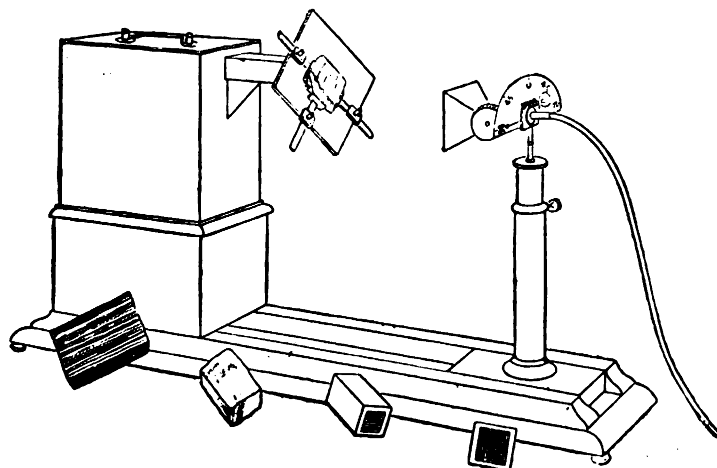


Fig. 6. — Appareil Bose disposé pour l'étude de la polarisation des ondes électriques.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 33, 27 mars 1897.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 219, 24 juillet 1897.

reil employé à l'étude de la polarisation.

M. E. Rutherford a également signalé un détecteur d'ondes qui lui a permis de transmettre à près d'un kilomètre de distance. Il ne s'agit plus ici de cohéreurs : on a utilisé la propriété des décharges de magnétiser ou de démagnétiser une aiguille d'acier placée à proximité du circuit de décharge.

Si l'on prend une aiguille aimantée, on peut l'appliquer à différencier les effets des deux demi-périodes de l'oscillation. En effet, l'aiguille étant saturée, la première demi-oscillation peut agir dans un sens, mais non dans l'autre. Toutefois, le moment magnétique est réduit dans les deux cas, mais dans des proportions différentes; de la comparaison des deux réductions on peut déduire l'amortissement des oscillations.

Plusieurs fils d'acier aimantés agglomérés en un faisceau à l'aide de paraffine, qui sert aussi à les isoler les uns des autres, forment un détecteur très sensible. Avec un faisceau d'une vingtaine de fils fins d'environ 1 cm de longueur placé à l'intérieur d'un solénoïde de plusieurs centaines de spires relié à des fils récepteurs, on a pu constater des effets de désaimantation produits par les ondes reçues d'un grand vibrateur situé à plus d'un demi-mille de distance.

Cette disposition ne paraît, toutefois, pas aussi sensible que les cohéreurs essayés par MM. Marconi et Preece; elle se prêterait d'ailleurs moins aisément à l'actionnement d'un circuit local.

A. Hess.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Accumulateurs E. Clark et F. King [1].

Les plaques, de divers types, représentées par les figures 1 à 4 et 5 à 7 sont formées chacune d'une enveloppe grillagée *a*, *a*,... renfermant l'ossature *b*, *b*,... destinée à recevoir et à maintenir la matière active. Comme on le voit sur les figures, cette ossature peut avoir des formes différentes selon l'usage auquel l'accumulateur est destiné. Les plaques construites suivant les modèles des figures 1 à 4, ne subissent aucune retouche après coulage, tandis que celles des figures 5 à 7 ont, au sortir du moule, la coupe donnée par la figure 6; on les passe au laminoir pour donner à leur section l'aspect d'une série de queues d'hironde interverties a_2, a_2, servant de logement à la matière active. Cette dernière est de plus maintenue en place par des grillages que l'on ajuste sur les deux faces de la plaque. L. D.

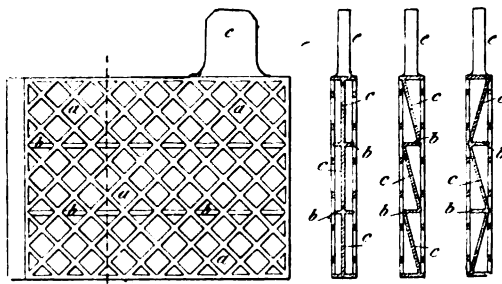


Fig 1 à 4. — Plaques d'accumulateurs Clark et King.

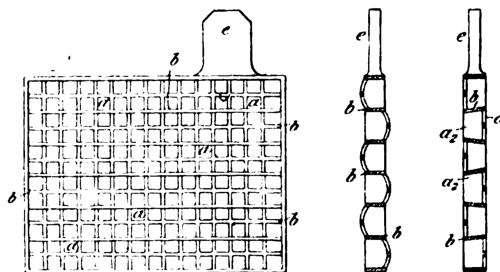


Fig. 5 à 7. — Autre type de plaques d'accumulateurs Clark et King.

[1] Brevet anglais déposé le 4 mars 1894, accepté le 23 janv. 1897.

Bouilloire électrique E. Davies [1].

Bien qu'il soit reconnu que la chaleur dégagée par les lampes à incandescence soit très minime en comparaison de celle que l'on obtient d'un bon radiateur, le titulaire de ce brevet n'en a pas moins cherché à l'employer au chauffage des liquides contenus dans un récipient spécial dont la forme est représentée par les figures 1 et 2. Sur le socle *a* de l'ap-

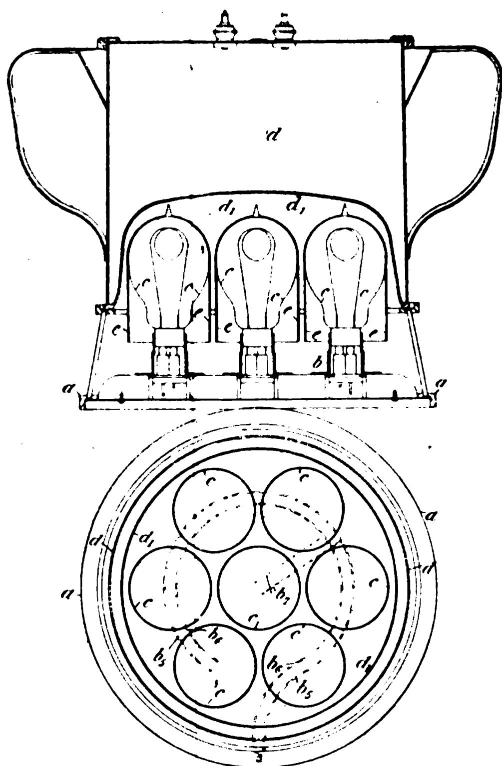


Fig. 1 et 2. — Bouilloire électrique Davies. — Élévation et plan du support des lampes.

pareil sont montées 7 lampes à incandescence *c*, *c*,...; toutes sont en série sur un circuit b_6, b_6. Les ampoules sont situées dans la cavité d_1 d_1 ménagée à la partie interne du récipient *d* et sont individuellement recouvertes d'une capsule *e*, *e*, *e*, en tissu métallique qui, au dire de l'inventeur, les protège contre l'action de l'air surchauffé en absorbant une partie de la chaleur dégagée pour les communiquer à l'air qui les traverse. Ce perfectionnement est d'ailleurs le principal objectif de ce brevet, car précédemment l'inventeur n'avait pu réaliser un appareil de ce genre à cause de la fusion fréquente des ampoules. Avec ce dispositif, l'air étant admis sous les capsules s'échauffe en les traversant tout en maintenant la température des ampoules assez basse pour prévenir tout danger de fusion. L. D.

(1) Brevet anglais n° 10803, présenté le 13 fév. 1897, délivré le 10 avril 1897.

Effet de la pression du gaz ambiant sur la température du cratère de l'arc ;

Par W.-E. WILSON et G.-F. FITZGERALD [1].

Les expériences faites il y a deux ans par M. Wilson [2] ont été soumises par les auteurs à une vérification qui les conduit à modifier quelques résultats antérieurs.

On se rappelle que ces expériences avaient pour but de rechercher si la température du cratère du charbon positif varie avec la pression du gaz qui l'entoure. Les déterminations les plus récentes assignent à cette température la valeur de 3 300° à 3 500°. Si cette température était, comme on l'a supposé, celle de l'ébullition du carbone, on ne pourrait conserver l'hypothèse que les nuages photosphériques du soleil soient formés de particules solides de charbon, puisque la température de cette couche n'est très probablement pas inférieure à 8 000°, à moins toutefois que la pression de l'atmosphère solaire soit suffisante pour porter le point d'ébullition du charbon à cette température.

Les nouvelles expériences ont été faites d'abord avec une atmosphère d'air dont la pression pouvait être élevée jusqu'à 120 atmosphères. L'observation importante, c'est qu'il se forme autour de l'arc des fumées rouges très abondantes de AzO^2, qui semblent absorber une grande partie de la lumière et expliqueraient la diminution d'éclat de l'arc avec

(1) Communication faite à la Société Royale de Londres.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. IV; p. 132.

l'augmentation de la pression observée dans la première série d'expériences.

Dans une atmosphère d'oxygène, l'arc brûlait très tranquillement, mais ce gaz était tellement souillé d'azote que les fumées rouges se formaient encore et empêchaient la mesure exacte de la radiation.

Dans l'hydrogène, l'observation de l'arc était également peu favorable, car il se formait une végétation de suie et un dépôt de charbon graphitique, comme s'il y avait eu électrolyse des hydrocarbures que contenait le gaz ambiant.

C'est une atmosphère de gaz carbonique qui a fourni les meilleurs résultats; il y avait seulement quelques difficultés à produire un arc assez long quand la pression était supérieure à environ 70 kg : cm^3. Quand la pression était brusquement réduite, il se formait dans le gaz un nuage qui absorbait énormément de lumière [1]. Des courants de convection dans le gaz dispersaient également une partie de la lumière et ne disparaissaient que lorsque la pression restait invariable.

Les résultats des expériences ne permettent pas d'affirmer d'une façon concluante que la température de l'arc s'abaisse ni qu'elle s'élève quand la pression augmente, quoique plusieurs observations concordantes aient fait constater un abaissement; mais dans beaucoup d'autres observations l'absorption par les nuages formés jouait un rôle prépondérant.

Quand l'arc était allumé dans le gaz à basse pression et celle-ci augmentée ensuite, le rayonnement était plus intense à basse pression qu'à haute pression; l'inverse paraissait se produire quand l'allumage était opéré dans le gaz porté à haute pression. En tout cas, entre 1 et 6 ou 7 atmosphères il ne paraît pas y avoir de variation du rayonnement.

La question est entourée de grandes difficultés. Si le charbon est réellement en équilibre avec sa vapeur à la température du cratère et à la pression ambiante, il doit exister une certaine relation entre la variation de pression et la variation de température du cratère. Si nous connaissions la chaleur latente de volatilisation du carbone, nous pourrions calculer la variation de température par la formule bien connue de thermodynamique

$$\frac{\delta T}{T} = \frac{\Delta v}{\lambda}. \lambda \delta p.$$

Δv peut être déterminé approximativement en supposant que la température absolue du cratère est quinze fois la température au point de congélation, soit 3800°. Nous obtenons ainsi pour le carbone gazeux $\Delta v = 10^4 q.p.$ à cette température. Pour l'atmosphère $\delta p = 10^6 p.\ q$, de sorte que

$$\frac{\delta T}{T} = \frac{10^{10}}{\lambda}.$$

Par conséquent, $\frac{\delta T}{T}$ sera considérable, à moins que la chaleur latente du charbon soit énorme par rapport à celle des autres substances. La loi de Trouton donne pour λ environ 4000 calories, ou $16,8 \times 10^{10}$ ergs, alors $\frac{\delta T}{T}$ serait environ $\frac{1}{17}$, et δT atteindrait 220° pour chaque atmosphère; une variation de pression de 18 atmosphères porterait la température du cratère à celle évaluée pour le soleil. L'augmentation correspondante du rayonnement serait très grande, car le rayonnement varie, au moins approximativement, comme la quatrième puissance de la température absolue. On s'attendrait donc à voir le rayonnement doubler pour chaque 4 atmosphères ajoutées. Une telle variation n'a certainement pas lieu, de sorte qu'on peut conclure ou que la température du cratère n'est pas celle du charbon bouillant, ou que la chaleur latente de volatisation est beaucoup plus grande que ne l'indique la loi de Trouton.

Si cette chaleur latente atteignait la chaleur de combustion de C en CO^2, soit 7770 calories, il y aurait un accroissement de 70 p. 100 du rayonnement pour une pression augmen-

[1] Comme l'a fait remarquer M. Guillaume, cette expérience semble confirmer son hypothèse de la dissolution du carbone dans le gaz. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 417 et t. X, p. 416.

tée de 6 atmosphères. Une chaleur latente aussi grande est sans précédent, et pourtant les expériences auraient presque certainement fait reconnaître une variation de rayonnement de cet ordre de grandeur. En somme, les expériences mettent en doute que la température du cratère de l'arc soit déterminée par le point d'ébullition du carbone.

Quant aux effets des courants de convection observés dans le gaz ambiant, ils pourraient fournir une explication nouvelle de l'opacité de l'atmosphère solaire, car ils se comportent au point de vue de la transmission de la lumière comme la neige. A. H.

Commutateur automatique A.-H. Walton pour la commande à distance des transformateurs (1).

Au repos, les organes de déclanchement de ce commutateur occupent les positions représentées par les figures 1 et 2. Deux

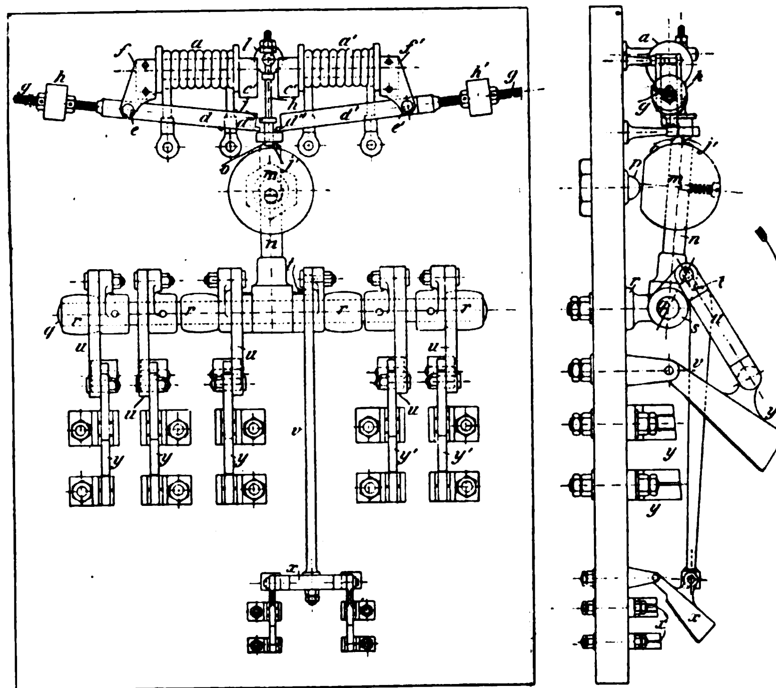


Fig. 1 et 2. — Commutateur Walton. — Élévation et coupe.

électros *a*, *a'* ont leurs deux pôles *c*, *c'*, placés en regard l'un de l'autre, séparés par une tige *l* en métal non magnétique, servant de guide à un manchon mobile *j* dont le taquet *j'* (fig. 2) est en prise avec celui terminant la tige *n* de la poignée du commutateur proprement dit. Les deux leviers *d, d'* (fig. 1) pivotés en *c*, *c'* à l'extrémité des projections *f*, *f'*, servent d'armature. Les taquets *d'' d''* qui les terminent, reposent sur une couronne fixe O et ont libre jeu entre cette dernière et le collier du manchon *j*. Leur résistance à l'attraction de *c*, *c'* est réglée par les contrepoids *h*, *h'* mobiles sur des tiges filetées *g*, *g'*.

Le commutateur comprend une tige *n*, terminée par une sphère métallique pleine *m* qu'un tampon de caoutchouc *p* empêche de venir au point mort, c'est-à-dire dans la position verticale. Cette tige est montée sur un axe *q* à manchons isolants *r* qui, par une série de bielles articulées *u*, *u*,... et *v*, ferme

(1) Brevet anglais n° 9284, présenté le 2 mai 1896, délivré le 27 mars 1897.

7 commutateurs. Les deux x, que l'on voit en bas de la figure, sont affectés, au circuit primaire des transformateurs; les trois de gauche mettent le secondaire en connexion avec un réseau à trois fils et les deux autres, à droite, mettent les électros a et a' en court-circuit. Leurs positions respectives sont calculées pour que la fermeture du circuit primaire ait toujours lieu avant celle du secondaire de manière à éviter les étincelles.

Le fonctionnement est facile à comprendre. Au lancé du courant, c et c' devenant actif attirent les armatures d, d' dont le jeu en soulevant j dégage j' de O. Par suite, la sphère m n'étant plus retenue se renverse suivant la trajectoire indiquée par la flèche et acquiert dans sa chute une force vive considérable qui force les lames des commutateurs à entrer dans leurs logements.

L'ouverture de ce commutateur s'effectue à la main; les électros a et b sont de nouveau remis dans le circuit par suite de la rupture du court-circuit en y' y', et prêts à fonctionner de nouveau. L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur l'ellipsoïde de polarisation relatif aux ondes électromagnétiques dans le gypse et sur la polarisation elliptique de ces ondes;

Par A. Righi [1].

Dans le gypse, l'axe moyen de l'ellipsoïde de polarisation relatif aux ondes lumineuses coïncide avec l'axe de symétrie cristalline; les deux autres axes de l'ellipsoïde sont dans le plan des deux autres axes cristallographiques, mais ont des directions quelconques, variables avec la longueur d'onde. Des expériences antérieures de l'auteur [2] ont montré que, pour les ondes électromagnétiques de 10,6 cm de longueur, un des axes de l'ellipsoïde de polarisation qui se trouve dans le plan de symétrie coïncide sensiblement avec l'axe cristallographique perpendiculaire à la direction du clivage secondaire non fibreux. La double réfraction des ondes électromagnétiques aurait donc avec la forme cristalline du gypse un lien qui n'existe pas dans le cas des ondes lumineuses.

L'auteur a étendu ces recherches sur divers points.

Polarisation elliptique. — Devant l'oscillateur, disposé verticalement, et à 20 cm de distance environ, est placé un grand diaphragme métallique, percé d'une ouverture de 8 cm de diamètre, recouverte entièrement par une lame de gypse dont les directions d'extinction forment des angles de 45° avec la verticale. On fait tourner le résonateur autour d'un axe perpendiculaire à la lame et on observe les étincelles.

Une lame très mince n'exerce pas d'effet sensible; les étincelles disparaissent quand le résonateur est horizontal.

Une lame un peu plus épaisse donne des étincelles dans toutes les directions, avec un maximum voisin de la verticale. La polarisation est elliptique. Pour une épaisseur de 2,5 cm ou 2,8 cm, la vibration émergente est presque circulaire; elle le devient rigoureusement quand on incline un peu l'oscillateur, de façon qu'il ne forme plus avec l'axe de clivage non fibreux qu'un angle de 36 à 40°. Cette expérience, analogue à celle que l'auteur a exécutée autrefois sur du bois de sapin, indique une absorption plus énergique exercée par le gypse dans la direction du clivage non fibreux. Le gypse possède donc, vis-à-vis des radiations électromagnétiques, des propriétés analogues à celles que présente la

[1] *Atti della R. Acc. dei Lincei*, t. VI, p. 207, 21 mars 1897.
[2] *Atti della R. Acc. dei Lincei*, 17 nov. 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 277, 8 février 1896.

tourmaline relativement aux radiations lumineuses. C'est, d'ailleurs, ce que confirme une discussion analytique plus complète.

La lame de 2,5 à 2,8 cm d'épaisseur est une lame *quart d'onde;* la lame d'épaisseur double (5 à 6 cm) rétablit la polarisation rectiligne.

Mesure des différences de phase. — On interpose devant le résonateur un réseau métallique (étain collé sur ébonite) qu'on place d'abord parallèlement, ensuite perpendiculairement à la vibration incidente, et on détermine l'intensité de la vibration rectiligne transmise perpendiculairement à la direction du réseau. Le rapport des intensités est égal au carré de la tangente de la différence de phase, en négligeant l'inégalité d'absorption. Des mesures plus complètes permettraient de déterminer le rapport des coefficients d'absorption principaux.

Ellipsoïde de polarisation. — Soient n_1, n_2, n_3 les indices de réfraction principaux du gypse pour des ondes do 10,6 cm, n_1 se rapportant à l'axe de l'ellipsoïde principal parallèle au clivage secondaire non fibreux, n_2 à l'axe perpendiculaire au clivage principal, n_3 à l'axe perpendiculaire du clivage non fibreux.

Une épaisseur de 5 ou 6 cm introduisant une différence de phase π entre ces deux composantes principales, la différence $n_1 - n_3$ est comprise entre 0,88 et 1,06. La double réfraction électromagnétique est donc beaucoup plus énergique que la double réfraction lumineuse.

Une expérience faite sur une lame perpendiculaire à l'axe 3 de l'ellipsoïde donne des résultats à peu près identiques; la différence $n_1 - n_2$ est sensiblement égale à $n_1 - n_3$. Toutefois il ne semble pas que n_2 et n_3 soient rigoureusement égaux; en supposant deux lames perpendiculaires aux axes 2 et 3, croisées de façon à ce que les doubles réfractions se retranchent, on constate que la vibration émergente n'est rectiligne que si les épaisseurs sont entre elles comme 3 et 2,9. La différence $n_2 - n_3$ serait comprise entre 0,03 et 0,04. En fait une lame perpendiculaire à l'axe 1 se comporte, sous une épaisseur de 3 cm, comme une lame perpendiculaire aux deux autres axes, sous une épaisseur de 1 ou 2 mm. L'ellipsoïde de polarisation du gypse pour les ondes électromagnétiques est donc presque exactement de révolution, et les propriétés de ce cristal se rapprochent beaucoup de celles du bois, la direction des fibres ligneuses correspondant à celle du clivage non fibreux du gypse. C. R.

Sur les indices de réfraction principaux du gypse pour les ondes électromagnétiques;

Par A. Righi [1].

Les expériences ont été faites par la méthode du prisme; on a taillé dans une série de cristaux des pièces qu'on a assemblées de façon à former deux prismes ayant pour section un trapèze isocèle dont les côtés parallèles ont 2,2 cm et 10,6 cm et les côtés égaux 18 cm, l'épaisseur étant 12 cm. Les pièces sont orientées de façon que les deux plans de symétrie du prisme soient parallèles à deux des plans de symétrie de l'ellipsoïde; on peut ainsi mesurer les trois indices principaux par la méthode de déviation minimum. L'expérience a donné $n_1 = 2,5$, $n_2 = 1,7$ (différence $n_1 - n_2 = 0,8$) avec le premier prisme et, avec le second $n_1 - n_3 = 1,8$, résultats qui, vu le peu de sensibilité de la méthode, s'accordent d'une façon satisfaisante avec ceux de la fin du mémoire précédent. C. R.

Sur l'absorption des ondes électromagnétiques;

Par A. Righi [2].

Les ondes émises par un oscillateur, muni de son miroir parabolique, traversent obliquement une grande lame de verre A, puis

(1) *Atti della R. Acc. dei Lincei*, t. VI, p. 326, 16 mai 1897.

(2) *Atti della R. Acc. dei Lincei*, t. VI, p. 214, 21 mars 1897.

tombent normalement sur un miroir métallique S qui les réfléchit. Après cette réflexion les ondes retombent sur la base A, qui en renvoie une partie sur un résonateur.

Si l'on applique sur le miroir plan S une lame diélectrique P, les radiations seront en partie réfléchies par la lame et en partie transmises; la portion transmise sera encore réfléchie par le miroir S et renvoyée vers le résonateur. Si l'introduction de la lame P n'affaiblit pas sensiblement l'action exercée sur le résonateur, c'est que la lame n'absorbe pas la radiation; dans le cas contraire l'expérience mettra en évidence l'absorption exercée par le diélectrique.

La précision de l'expérience dépend beaucoup des dimensions de la lame et du miroir, qu'il est préférable de prendre grands; il est nécessaire que la lame ne soit pas plus petite que le miroir, sans quoi les rayons qui n'ont pas traversé la lame pourraient interférer avec ceux qu'on étudie. Avec les appareils qui donnent une longueur d'onde de 10,6 cm, le miroir doit avoir une surface comprise entre 1 et 6 dcm^2.

Le rapport dans lequel est réduite l'intensité des radiations qui tombent sur le résonateur par l'action de la lame est $\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta}$, en appelant α et β les angles dont il faut faire tourner le résonateur autour de la direction de propagation des ondes qu'il reçoit, pour faire disparaître les étincelles successivement lorsque le diélectrique est supprimé et lorsqu'on le remet en place.

Voici les valeurs obtenues :

	$\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta}$
Soufre, ébonite, paraffine, verre ordinaire (épaisseur, 4,2 cm).	1
Verre de miroirs (4 lames superposées, épaisseur totale, 3 cm.	0,45
Marbre (épaisseur, 5,4 cm).	0,76
Bois de sapin (fibres parallèles aux oscillations, 2,25 cm).	0,47
Bois de sapin (fibres perpendiculaires, 2,25 cm).	0,66
Les deux planches précédentes superposées et croisées	0,29

Le bois agit comme un réseau de fils métalliques parallèles à ses fibres, mais l'absorption est moins énergique. C. R.

BIBLIOGRAPHIE

La machine à vapeur; par A. Letellier, ingénieur. — Un vol. in-8°, 98 pages. — *A. Challamel*, éditeur, 17, rue Jacob, Paris.

Ce petit volume qui fait partie de la bibliothèque des capitaines du commerce, s'adresse spécialement aux candidats au diplôme de maître au cabotage; c'est dire qu'il est tout à fait élémentaire et si nous le signalons ici, c'est qu'il nous paraît de nature à rendre quelque service aux ingénieurs dirigeant des usines à vapeur et aux officiers de marine en leur permettant d'initier leurs ouvriers ou leurs hommes au fonctionnement des machines à vapeur et de rendre ceux-ci aptes à conduire au besoin ces machines.

L'auteur se place, en effet, dans l'hypothèse d'un lecteur n'ayant qu'une instruction fort rudimentaire et cherche à lui faire comprendre le fonctionnement, les dangers et les conditions d'entretien des chaudières et des machines, d'un emploi fréquent aujourd'hui dans la marine de pêche. La tâche était difficile à remplir; elle nous paraît l'avoir été, les explications étant tout à la fois succinctes et claires tout en ne prêtant à aucune critique au point de vue de la précision.

J. R.

Traité élémentaire de chimie; par L. Troost, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences. Un vol. petit in-8, 380 + 512 pages, 12e édition. *Masson et Cie*, éditeurs, 120, boulevard Saint-Germain, Paris.

Le fait que cet ouvrage est à sa douzième édition nous dispense d'en faire l'éloge. Quant au contenu, la préparation aux baccalauréats et autres nombreux examens où la chimie tient un rang honorable l'a suffisamment fait connaître à la plupart de nos lecteurs pour nous dispenser

d'une énumération fastidieuse des divers chapitres. Nous nous bornerons donc à dire que cette nouvelle édition, écrite, comme la précédente d'ailleurs, en notation atomique, a été tenue avec beaucoup de soin au courant des nouvelles découvertes, grandes et petites, et qu'elle constitue un vade-mecum des plus complets. Pour ces raisons elle rendra de nombreux services — jusqu'à ce qu'une nouvelle édition vienne la supplanter — non seulement aux chimistes qui y trouveront sous une forme concise une énorme quantité de renseignements, mais encore aux ingénieurs qui ont intérêt à apprendre ou à revoir les propriétés physiques et chimiques des matériaux qu'ils emploient. J. R.

Electrical Trades' Directory and Handbook, for 1897. — Un fort vol. in-8°, — *The Electrician printing and publishing C°*, éditeur, Salisbury Court, Fleetstreet Londres, Prix 7 shillings, 6 pence (10 fr. 35).

Il est vraiment un peu tard pour parler d'un annuaire à cette époque de l'année. Disons néanmoins, pour les retardataires, que l'édition nouvelle présente sur les précédentes diverses améliorations. Outre que le nombre des pages consacrées aux adresses des électriciens des Iles Britanniques, des Colonies anglaises, du Continent et de l'Amérique a été considérablement augmenté, une nouvelle section a été ajoutée à cette partie de l'ouvrage : celle des électriciens de l'Asie et de l'Afrique.

Les renseignements généraux, les lois et décrets relatifs aux installations électriques d'éclairage, de traction et de transport d'énergie, les statistiques des stations centrales anglaises, les documents relatifs à la télégraphie et la téléphonie occupent également une place plus étendue que dans les précédentes éditions.

Nous ne pouvons par conséquent que féliciter les éditeurs qui, partant de ce principe que plus l'ouvrage sera complet plus il aura d'acheteurs, ne reculent devant aucun sacrifice pour satisfaire ceux-ci. J. R.

CHRONIQUE

La traction électrique et la traction à vapeur sur les lignes de chemin de fer. — Dans une note intéressante publiée dans *The Electrical Review* (n° du 2 juin 1897, p. 586), M. J. C. Martin fait de nouveau ressortir les avantages de la traction électrique sur la traction à vapeur et donne à ce sujet un exemple très documenté. En voici les points principaux :

La ligne considérée est celle du chemin de fer de Florence à Cripple Creek (Amérique). Sa longueur totale est de 64, 12 km, dont 40 km environ sont en rampe à 4 p. 100, 10 km environ à 1, 9 p. 100, et le reste en palier. L'écartement des rails est de 0, 90 m. Le matériel roulant se compose actuellement de douze locomotives Baldwin du poids de 33 tonnes chacune (tender non compris). On attelle deux de ces machines pour remorquer un train de marchandise de 167 tonnes environ avec une vitesse de 8 km à l'heure en moyenne sur les plus fortes rampes.

En établissant la moyenne du trafic journalier à 40 trains par jour, y compris ceux de voyageurs, on relève, pour la traction à vapeur, les frais suivants :

	Fr
TRAINS DE MARCHANDISES	
8 mécaniciens à 23,40 fr par jour.	187,20
8 chauffeurs à 13,90 »	111,20
TRAINS DE VOYAGEURS	
3 mécaniciens à 23,40 fr par jour.	70,20
3 chauffeurs à 13,90 »	41,70
Charbon, pour 11 locomotives; 3.5 tonnes par tender à 13,75 fr la tonne.	529,37
Charbon transporté et consommé à Cripple Creek : 3,5 fr à 25 la tonne.	87,50
Dépense pour 6 réservoirs d'eau par jour.	45,00
Entretien et réparation de 12 locomotives : 30 fr chacune par jour	360,00
Total.	1 421,87

Observons en passant que dans l'article original le total est de 1 529,15 fr au lieu de 1 421,87 fr. Cela provient d'une erreur de calcul dans le prix du charbon fourni aux locomotives. En effet, l'auteur dit que les 11 tenders ont chacun 3,5 tonnes

de combustibles à 13,75 fr la tonne; or, nous avons $11 \times 3,5 = 38,5$ tonnes qui, multipliées par 13,75 donnent 529,37 et non 628, 10 fr comme l'indique l'auteur par le total de 125,62 dollars.

Pour l'exploitation électrique la dépense quotidienne serait :

	Fr
1 électricien à 25 par jour	25
7 wattmans à 13 »	105
1 chef mécanicien à 500 fr par mois	16,50
2 aides » à 375 »	25
2 manœuvres à 10 fr par jour	20
Entretien et réparation de 7 moteurs électriques	40
30 tonnes de charbons consommés par les chaudières d'une station centrale à 5 fr la tonne	150
Total	381,50

Dans cette évaluation l'auteur admet que 7 locomotives électriques pourvues chacune d'un moteur de 100 chevaux à 600 volts, suffisent pour effectuer le service des 11 premières. On voit, par la comparaison des chiffres, que l'économie qui résulterait de la substitution serait de 1 422,87 — 381,50 = 1 041,37 fr par jour.

Le projet de cet ingénieur pour l'équipement électrique de la ligne envisage l'emploi du courant triphasé transformé en courant continu, lequel servirait à l'alimentation des fils à trôlet par l'intermédiaire d'un pont à trois fils système Henry. La station serait située sur le trajet de la ligne, à Florence, non loin des centres houillers qui lui fourniraient du combustible à 5 fr la tonne. Le courant triphasé qui y serait produit, subirait une transformation qui l'amènerait au potentiel de 20000 volts. C'est sous cette tension qu'il serait réparti entre des convertisseurs échelonnés sur la ligne dans des postes spéciaux et reliés au pont d'alimentation à 600 volts. La distribution s'effectuerait par voie aérienne; les pylones supportant les fils à trôlet recevraient également les fils de la distribution.

Comme il a été dit précédemment, la ligne a une longueur totale de 64,12 km. Sa transformation entraînerait une dépense d'environ 1 250 000 fr répartie comme il suit :

	Fr
200 pylônes tout montés à 25 fr pièce	50 000
130 km de cuivre nu pour la distribution	143 140
Report	193 140
A reporter	193 140
130 km de cuivre nu pour le double fil à trôlet	143 140
Tendeurs et joints électriques	20 000
7 locomotives électriques à 30 000 fr	210 000
4 alternateurs de 400 kwt chacun	160 000
Convertisseurs	200 000
4 moteurs à vapeur de 500 chev. chacun	100 000
4 chaudières — —	120 000
Installations électriques non prévues	25 000
Station centiale et montage du matériel	78 720
Total	1 250 000

Dans cette estimation l'auteur a compris un groupe de réserve de 500 chevaux; trois seulement suffiraient pour assurer le trafic normal. Il fait de plus ressortir l'avantage qu'il y aurait à construire la station en vue d'agrandissements car les centres houillers au milieu desquels elle se trouverait située ne manqueront certainement pas d'utiliser l'énergie électrique pour leur éclairage et machines-outils, ce qui, à vrai dire, leur procurerait une sensible économie sur les dépenses qu'occasionnent les moyens actuels dont ils disposent.

Le brevet Atcheson pour la fabrication du carborindon et les fours électriques. — Un procès assez intéressant vient d'être jugé en Amérique. La Cowles Electric Smelting and Aluminium Company de Lockport, attaquait la Carborundum Company, de Niagara Falls; les poursuites avaient été commencées en 1894 et les débats furent suivis avec attention, car les revendications de M. Alfred-H. Cowles étaient si larges, que si elles avaient été acceptées, cet inventeur aurait eu le monopole de l'emploi des fours électriques. Les témoignages d'experts remplissent plus de 1 400 pages! Les revendications de la compagnie Cowles ont été rejetées. Dans les débats, un fait typique a été révélé : c'est qu'en fabriquant de l'aluminium, MM. Cowles avaient obtenu du carborindon, mais ne s'en étaient pas aperçus! Ce n'est qu'après la découverte de M. Atcheson qu'ils s'en doutèrent!! Nous ajouterons qu'ils avaient aussi probablement obtenu du carbure de calcium, car ils employaient dans leur four du charbon chaulé. Mais, pas plus que pour le carborindon, ils ne constatèrent son existence. Cela prouve une fois de plus que le véritable inventeur n'est pas celui qui trouve un fait par hasard sans en comprendre l'intérêt.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XII. Samedi 25 Septembre 1897 4e Année. — N° 39.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA TÉLÉPHONIE

Nous réunirons sous cette rubrique ceux d'entre les perfectionnements apportés aux appareils ou à l'organisation des réseaux et des bureaux centraux téléphoniques qu'il peut être intéressant de signaler. Au cours de cette revue, nous serons forcément amené à nous répéter, mais la multiplicité des solutions apportées à un même problème ainsi que, d'autre part, l'identité de principe souvent constatée dans les inventions simultanées d'origines différentes, renseignent utilement sur les tendances en présence.

Au point de vue général du développement de la téléphonie, nous résumerons aujourd'hui quelques idées émises par un spécialiste des plus autorisés, M. J.-H. West, dans une communication à l'Elektrotechnischer Verein, de Berlin.

Après avoir rappelé combien le progrès général est accéléré par le développement de tous les moyens d'intercommunication, parmi lesquels la téléphonie tiendra sans doute le premier rang, M. West se demande quelle organisation peut dès à présent être prévue pour assurer toute latitude à l'extension future du réseau interurbain d'un grand pays. L'exemple de pays comme la Suisse et la Suède peut donner une idée de la limite accessible dans un avenir peu éloigné. En 1894, on comptait en Suède un poste téléphonique par 133 habitants; en Suisse, le chiffre correspondant était de 1 : 154 et s'élevait à 1 : 132 l'année suivante. On peut donc admettre sans exagération que la plupart des grandes nations pourront atteindre une activité téléphonique correspondant à l'usage d'un poste par 100 habitants; ce n'est plus guère aujourd'hui qu'une question d'administration dépendant du plus ou moins de largeur de vues qui préside à l'exploitation des réseaux [1]. Un pays comme la France comporterait donc plus de 300 000 postes téléphoniques, dont il s'agirait d'assurer par les moyens les plus économiques la possibilité de communiquer deux à deux.

L'auteur est conduit à diviser le territoire en un certain nombre de districts téléphoniques (fig. 1) ayant pour centre la ville la plus importante de la région. Les lignes réunissant les petites localités ne formeraient pas alors un réseau proprement dit, à mailles continues, s'étendant sur le pays entier, mais elles convergeraient toutes au chef-lieu de leurs districts respectifs. Ce seraient en quelque sorte des lignes départementales reliant les

[1] *La Lumière Électrique*, 1894, t. LI, p. 601.

réseaux urbains aux centres dont l'intercommunication serait assurée par un nombre suffisant de lignes interdépartementales qui

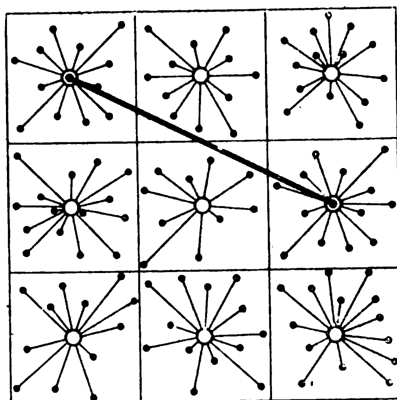


Fig. 1.

formeraient les artères téléphoniques du pays. L'importance qu'il faut attacher à la brièveté des manœuvres de mise en communication, surtout dans le service interurbain, impliquerait alors la centralisation en un bureau unique de toutes les lignes d'une ville chef-lieu de district, ainsi que leur combinaison directe, sans organisme intermédiaire, avec les lignes interurbaines. Nos lecteurs savent que les difficultés techniques qui s'opposaient à cette centralisation peuvent être considérées comme vaincues [1].

Une pareille organisation unitaire n'est possible qu'à la condition de se prémunir contre toutes les causes perturbatrices des lignes téléphoniques. On sait, et la pratique adoptée en France le prouve abondamment, que seule l'adoption des circuits entièrement métalliques permet d'avoir toute sécurité à cet égard. Placé au point de vue allemand, l'auteur est obligé de plaider assez longuement en faveur de la transformation des circuits unifilaires en circuits bifilaires. Nous ne le suivrons pas dans cette partie de l'exposé.

Pour la transmission entre villes distantes de plus de 1000 km, on indique l'emploi possible de translateurs, parmi lesquels l'appareil Münch, décrit plus loin, est cité comme donnant de bons résultats. Nous n'avons à ce sujet aucune expérience personnelle, mais les raisons théoriques ne sont pas pour engager à croire beaucoup à l'efficacité de ces appareils, sous réserve naturellement de l'intervention d'un principe nouveau.

Une autre question qui peut influencer considérablement l'économie du service téléphonique et par suite son développement ultérieur, est celle de l'utilisation plus intensive des lignes existantes. On a bien proposé et même appliqué sur une échelle modérée certains dispositifs qui permettent de desservir avec une même ligne plusieurs postes en conservant à ceux-ci une certaine indépendance; mais, à moins de créer un moyen de transmission simultanée de plusieurs conversations, les divers postes à ligne commune se gènent réciproquement et l'on est obligé d'établir entre eux une certaine hiérarchie, de réserver par exemple au plus important la faculté d'être appelé par le bureau. Or, il existe une catégorie nombreuse de personnes qui, en compensation d'une réduction du prix d'abonnement, renonceraient volontiers à l'appel direct de la part du bureau.

Les postes secondaires qui desserviraient les abonnés de cette catégorie pourraient être groupés à plusieurs avec un poste principal sur une seule ligne, suivant un montage analogue à celui de la figure 2 qu'indique M. West. Les divers postes sont branchés en dérivation sur la ligne L_1 L_2. En plus de ses appareils habituels reliés aux bornes 3 et 4, chaque poste est muni d'un électro-aimant *e* dont l'armature, lorsqu'elle est attirée, immobilise le crochet commutateur. Cet électro est actionné par les circuits indiqués en trait plein, qui aboutissent aux bornes 1 et 2 de chaque poste et contiennent la pile P et le relai E.

Lorsque, à un poste quelconque, on saisit le téléphone, le crochet commutateur se soulève et vient buter contre le contact 6; il en résulte que la ligne reliée à la borne 1 se

[1] *L'Éclairage Électrique*, 1896, t. VIII, p. 263.

trouve mise à la terre et le relai E entre en action. En attirant son armature, celui-ci ferme un second circuit de la pile P sur les électros de tous les autres postes.

Les crochets commutateurs de tous les postes, sauf celui qui parle, sont ainsi verrouillés et ne peuvent être intercalés dans le circuit de conversation; la disposition n'exclut d'ailleurs pas l'appel du bureau : il suffit de munir un des postes d'une sonnerie qui peut être reliée à la ligne par l'intermédiaire de l'armature *h* et du contact 7. Dans une grande maison d'habitation, le poste à sonnerie pourrait se trouver chez le concierge; dans une maison de commerce, on le placerait au bureau de l'employé chargé du téléphone, tandis que les autres postes seraient à la disposition des chefs, etc. L'avantage économique d'un tel montage, c'est qu'il ne nécessite au bureau qu'un annonciateur et un jack individuel par chaque groupe d'abonnés.

Quant aux manœuvres de mise en commu-

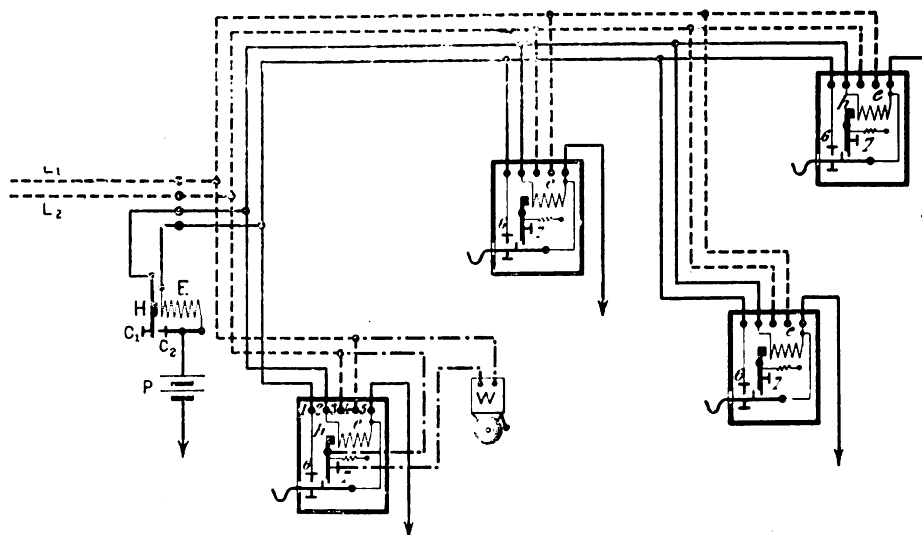


Fig. 2.

nication, on en réduit la durée en faisant effectuer automatiquement toutes celles qui se répètent à chaque opération. On a déjà décrit dans ce journal le mécanisme combiné à cet effet par M. West [1].

En ce qui concerne les appareils transmetteurs et récepteurs, il y a peu de progrès à enregistrer dans ces dernières années. Les sujets d'étude ne manquent pourtant pas, on connaît encore fort peu de choses sur la forme des vibrations téléphoniques. Comme fréquence, on indique généralement quelques centaines de périodes par seconde; M. West trouve que les vibrations sont d'ordres de fréquence très divers : si pour les voyelles on peut admettre 300 à 800 périodes par seconde, les ondulations fournies par les consonnes sont beaucoup moins rapides et peuvent descendre jusqu'à 4 ou 5 par seconde. Malgré cela, les récepteurs employés présentent leur maximum de sensibilité pour les ondulations dont la fréquence est d'environ 600 par seconde.

On conçoit que ces appareils ne soient pas dans les conditions voulues pour reproduire fidèlement les consonnes, d'autant plus que ces dernières donnent des courbes peu différentes entre elles. Les courbes (fig. 3), déterminées par l'auteur à l'aide de moyens assez rudimentaires, en montrent des exemples. Comme conclusion, il paraît nécessaire de soumettre les téléphones à certaines modifications qui puissent leur donner plus de sensibilité pour les vibrations de basse fréquence.

[1] *L'Éclairage Électrique*, 1896, t. X, p. 175.

BUREAUX CENTRAUX

Le système du commutateur multiple a offert jusqu'à présent le moyen technique d'opérer entre un grand nombre de lignes aboutissant en un même point toutes les

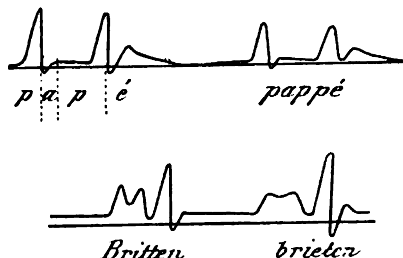


Fig. 3.

combinaisons deux à deux qui peuvent se présenter; mais la capacité de ce système est limitée, et l'ère des difficultés a commencé dès que la limite a été dépassée. L'unification des procédés que l'adoption à peu près universelle de ce système avait réalisée cède maintenant la place, dans les grandes villes, à une diversité de solutions nouvelles qui cherchent à répondre aux exigences imparfaitement satisfaites par le système multiple. La prudence du praticien en est aux palliatifs, les principes nouveaux l'effraient et devront attendre pour entrer en action l'épuisement complet de toutes les demi-mesures. Nous avons développé, dans nos articles antérieurs, quelques considérations à ce sujet et ne nous y arrêterons pas plus longuement.

L'un des moyens consiste dans la division du travail des employées; ce principe industriel peut donner les résultats les plus opposés suivant le mode d'application. En gros le travail de l'opérateur consiste à :

1. S'enquérir de la demande de l'abonné A;

2. Relier A avec B.

La division la plus naturelle de ce travail est de charger un premier opérateur de la partie 1 et de confier la partie 2 à un second opérateur. Or, on propose et on pratique des systèmes dans lesquels un opérateur I est chargé de :

1. Recevoir l'appel de l'abonné A;

2. Relier A à une ligne intermédiaire x; et un opérateur II de :

3. Relier B à la ligne intermédiaire x.

La division du travail devient ainsi une multiplication du travail.

Les systèmes proposés sont déjà nombreux; nous allons en décrire deux nouveaux sinon comme principe du moins comme mode de réalisation.

La Western Electric C°, représentée par M. Kingsbury, poursuit une répartition aussi uniforme que possible du travail total entre les différents opérateurs d'un bureau. A cet effet, les annonciateurs et les jacks individuels d'un multiple ordinaire sont placés séparément sur des tables spéciales desservies par un premier groupe d'opérateurs; un

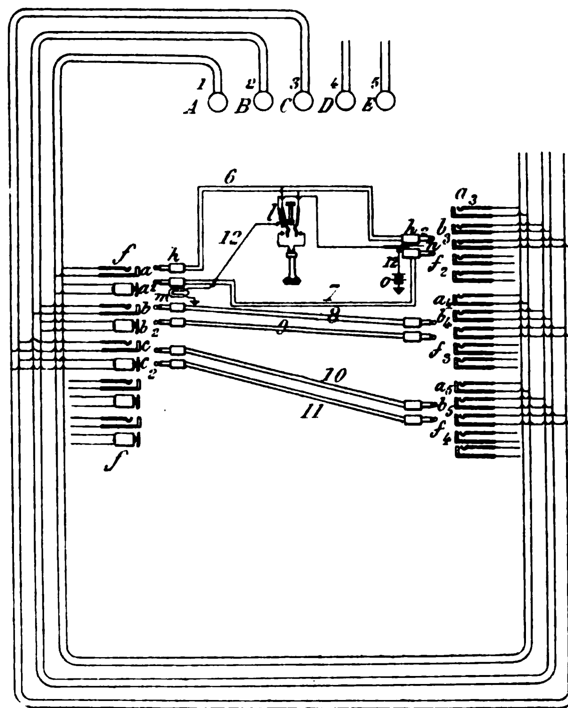


Fig. 4.

autre groupe est placé devant les jacks généraux du multiple; les deux parties principales du bureau, tableaux annonciateurs et tables multiples, sont reliées entre elles par des lignes de renvoi qui se terminent aux deux extrémités par des fiches.

Le fonctionnement du système est facile à comprendre en considérant le schéma du montage (fig. 4). Les lignes 1, 2, 3,... des postes d'abonnés A, B, C,... aboutissent chacune, au bureau central, à un tableau annonciateur a_2 et un jack a situés sur les tableaux annonciateurs f, et possèdent en outre chacune un jack général dans les différentes sections du multiple ; à la ligne 1, par exemple, sont affectés les jacks a_3, a_4, a_5,... des sections f_2, f_3, f_4,... du multiple. Des lignes de renvoi 6 et 7 vont du tableau annonciateur à la section f_2 du multiple, et se terminent dans les fiches h et h_2; d'autres lignes 8 et 9 vont de même à la section f_3, etc.

Au signal d'appel de l'abonné A manifesté par l'annonciateur a_2, l'opérateur préposé au tableau annonciateur insère la fiche h de la ligne de renvoi 6 dans le jack a de cette ligne d'abonné et en informe l'opérateur de la section f_2 du multiple. Celui-ci répond à l'appel de l'abonné A et s'informe de la communi-

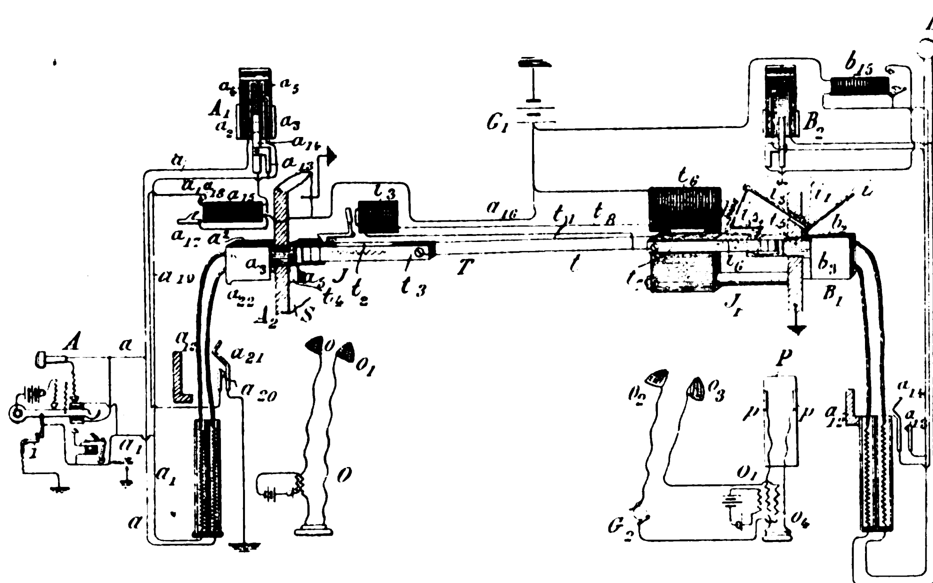


Fig. 5.

cation désirée, qu'il établit ensuite en insérant sa fiche h_2 dans le jack général, par exemple b_3 de la ligne désirée B2.

Il est nécessaire que le premier opérateur soit averti de l'état d'occupation des lignes de renvoi. A cet effet, chacune d'elles est accompagnée au tableau annonciateur d'un signal quelconque, une lampe à incandescence m par exemple qui s'allume quand la ligne de renvoi redevient libre. Pour cela, la clef d'écoute qui sert à brancher le téléphone du second opérateur sur la ligne est pourvue d'un ressort supplémentaire l lequel ferme un contact et met le générateur o en communication avec la lampe par le circuit 12, au moment où, la ligne étant redevenue libre, le second opérateur remet ses appareils dans la position d'attente. Le premier opérateur distingue donc d'un simple coup d'œil les lignes de renvoi des opérateurs non occupés, ce qui lui permet de répartir les appels entre ceux-ci et d'égaliser le travail. Il peut en outre contrôler l'exécution des ordres transmis, car la fiche h_2 repose sur un ressort qui se soulève quand la fiche quitte son siège et rompt le circuit de la lampe-signal m.

Lorsque les abonnés sont répartis entre plusieurs bureaux, les lignes de renvoi doivent naturellement relier les différents bureaux ; d'autre part, les opérateurs des tableaux annonciateurs doivent être renseignés sur le bureau auquel appartient la ligne de l'abonné

demandé; mais comme, de par l'organisation du système, ils ne peuvent communiquer téléphoniquement avec les appelants, on munit les lignes d'un indicateur du genre du télégraphe à cadran par l'intermédiaire duquel l'abonné appelant doit indiquer au premier opérateur le numéro du bureau de son correspondant.

Quoique combiné dans un but différent du précédent, le système de M. M.-F. Hills comprend les mêmes divisions principales :

Tableaux annonciateurs, tableaux commutateurs et lignes de renvoi intermédiaires. Il en diffère par les points suivants :

1° Pour les tableaux commutateurs le système multiple est abandonné; les lignes d'abonnés sont divisées en groupes répartis entre des tableaux différents ;

2° L'employé qui reçoit le signal d'appel est aussi celui qui s'enquiert de la demande de l'appelant et en informe le second opérateur.

Une différence secondaire consiste en ce qu'à l'inverse de la disposition précédente les lignes d'abonnés se terminent par des fiches et les lignes de renvoi par des jacks.

L'appareillage présente plusieurs particularités intéressantes que la description fera ressortir.

Les fils de ligne aa_1 (fig. 5) du poste d'abonné A aboutissent au bureau aux pièces de contact latérales a_2 a_3 et a_4 a_5 de deux fiches A_1 et A_2. Sur la droite de la figure, on voit les deux fiches B_1 et B_3 d'une autre ligne d'abonné B. Les fiches A_2 et B_2 se trouvent devant les tableaux annonciateurs, les fiches A_1 et B_1 sont placées aux tableaux commutateurs. Sollicitées par des ressorts qui terminent leurs cordons, ces fiches reposent normalement sur des sièges a_{12} munis de pièces de contact : a_{20} et a_{21} pour les tableaux annonciateurs; a_{13} et a_{14} pour les tableaux commutateurs.

Un générateur d'appel G_1 situé au bureau central est de service commun à tous les postes d'abonnés; la clef d'appel de ceux-ci ne sert donc qu'à établir une liaison à la terre. Quand un abonné A établit cette liaison, un courant émis par le générateur G_1 passe par le fil a_{16} à l'annonciateur a_{15} qu'il actionne et retourne par les contacts a_{13} et a_{14} et le fil de la ligne a_1 à la terre. En attirant son armature, l'annonciateur fait lever le volet a_{17} et celui-ci conserve cette position parce qu'un courant permanent passe alors du générateur par l'annonciateur au nouveau circuit fermé par le volet sur le contact a_{18}, le fil a_{19}, les contacts a_{20} a_{21} et la terre.

Averti par l'apparition d'un numéro appelant, le premier opérateur O soulève la fiche A_2 portant le même numéro de son siège a_{12} pour l'insérer dans le jack J d'une ligne de renvoi. Le circuit téléphonique de l'opérateur se termine par deux dés métalliques o et o_1 que celui-ci porte au bout de ses doigts, de sorte que le seul fait de saisir la fiche par ses pièces métalliques a_2 et a_3 met le poste d'opérateur en dérivation sur la ligne de l'appelant. Informé par celui-ci de la communication désirée, l'opérateur introduit la fiche qu'il tient en main dans le jack J d'une ligne de renvoi T choisie parmi celles qui vont de son poste au groupe particulier qui contient aux tableaux commutateurs la ligne de l'abonné demandé B. La communication s'établit par les pièces latérales a_4 et a_5 de la fiche venant en contact avec les ressorts t_2 et t_3 du jack. En s'éloignant de son siège, la fiche a écarté avec son rebord a_{22} le ressort a_{21} et l'interruption momentanée du contact de terre a_{20} qui en est résultée, a fait retomber le volet de l'annonciateur individuel a_{15} qui revient donc automatiquement dans sa position d'attente. En même temps, le ressort t_3 du jack se trouve écarté de son butoir de repos t_4 qui le mettait en relation avec le massif S et la terre et formait un circuit : terre, t_4, t_3, t_8, t_6, générateur G_1 et terre, lequel excitait l'annonciateur t_6. Par suite de la rupture de son circuit d'excitation, celui-ci abandonne son armature qui, reliée par une bielle i_3 à un volet i, laisse tomber ce dernier dans une position inclinée et avertit ainsi

l'opérateur O_1 du tableau de commutation.

A l'apparition de ce signal, cet opérateur place sa fiche simple P à deux contacts *pp* dans le jack J_1 de la ligne de renvoi. Par ses appareils téléphoniques ainsi reliés à la ligne il apprend soit du premier opérateur, soit de l'abonné, qu'on demande l'abonné B. Il saisit alors avec sa main munie des dés o_2 et o_3 la fiche B_1 qu'il porte dans le jack J_1 à la place de la fiche P qu'il peut immédiatement insérer dans une nouvelle ligne de renvoi appelante, car il n'a plus à s'occuper de la précédente communication AB.

En effet, en prenant la fiche B_1 les dés o_2 o_3 ont touché les contacts b_2 b_3 de cette fiche; le générateur G_2 a donc envoyé un courant d'appel vers le poste de l'abonné demandé B. De plus l'armature de l'annonciateur t_6 étant alors dans la position dessinée, le crochet i_5 dont elle est munie s'est engagé dans une encoche de la fiche, qu'il retient malgré l'action antagoniste du ressort éjecteur i_0. Un électro-auxiliaire i_4 joue le même rôle par rapport à la fiche A_3.

L'émission du signal de fin de conversation a pour effet de faire lâcher prise aux deux jacks et de permettre aux ressorts éjecteurs de repousser les fiches qui retombent sur leurs sièges sans l'intervention des opérateurs. Le signal de fin est en effet donné au poste d'abonné par la mise à la terre du fil de ligne a_1 ou b_1. Le générateur G_1 peut dès lors lancer un courant dans les électros t_6 et i_8, courant qui va à la terre par t, t_3, a_3 et a_1, ou de l'autre côté par t, t_7, fiche et cordon B_1 et poste B. C'est ce courant qui déclanche les mécanismes de rétention des fiches. Il est à remarquer que le signal de fin se manifeste encore par le relèvement du volet de l'annonciateur individuel créant par la fermeture du contact a_{18} une terre permanente jusqu'à la chute de la fiche A_2. En cas de raté des mécanismes éjecteurs, cette nouvelle terre les solliciterait à nouveau. La fiche A_2 en tombant provoque le retour au repos définitif de l'annonciateur individuel en écartant, comme on l'a déja dit, le ressort a_{21}; mais le retour du ressort t_3 du jack sur son butoir de terre du massif S offre un nouveau chemin pour la circulation du courant d'excitation de l'électro t_6 de sorte que le fonctionnement de celui-ci est provoqué successivement par trois moyens différents.

Notons encore que pendant l'occupation de la ligne B son annonciateur individuel b_{13} est immobilisé, car il est coupé de la ligne par la rupture du contact a_{13} a_{14} qui s'opère dès que la fiche B_1 quitte son siège.

La sonnerie du poste d'abonné ne fonctionne pas à interruption; son marteau met l'enroulement alternativement en court-circuit. L'opérateur O_1 est donc averti de la liberté de la ligne B quand il entend dans son téléphone le bruit causé par le courant ondulatoire du générateur G_2 agissant sur un circuit dont la résistance varie périodiquement par l'action du court-circuit intermittent. Enfin, quoique chaque poste soit muni d'une clef à main, l'émission du signal de fin s'opère automatiquement à l'aide d'un contact de terre passager établi par un levier 1, au moment où le crochet commutateur du poste se rabaisse quand on raccroche les récepteurs.

En résumé, les opérations manuelles pour une mise en communication se réduisent à trois manœuvres : insertion de la fiche A_2; insertion passagère de la fiche P; insertion définitive de la fiche B_1. La combinaison des appareils est ingénieuse; on peut seulement avoir quelque crainte relative à la sûreté de fonctionnement des électros éjecteurs, dont l'inventeur lui-même ne paraît pas absolument convaincu.

APPAREILLAGE

Le *transmetteur* W.-A. Moore (fig. 6) est un microphone à charbon granulé et à deux diaphragmes. Le diaphragme extérieur D, en soie huilée, n'est séparée du second diaphragme D_1 que par une rondelle très mince, et l'ensemble est pressé entre les ressorts et le couvercle de la boite C.

Le diaphragme D étant retenu seulement par sa circonférence, toute sa surface est utilisée pour recevoir les vibrations, qui sont

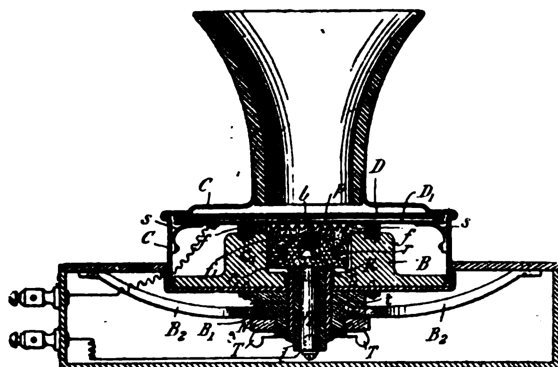


Fig. 6.

communiquées par un bouton central *b* au second diaphragme ; ce dernier porte en outre des projections annulaires *p*. Il est séparé par une rondelle de feutre *f* d'un bloc en matière isolante B dont la cavité centrale R recoit un bouton en charbon C_1 fixé par une vis s^1 à une tige métallique r_2. Celle-ci est séparée par une gaine isolante *i* d'un tube métallique *t* qui pénètre à frottement dans une pièce B_1 reposant par un épaulement dans l'étrier B_2. Un écrou N fixe le tout en place.

La cavité comprise entre le diaphragme interne et le bouton de charbon est remplie de granules de charbon. Des rainures *r* pratiquées dans le bouton C_1 ont pour but d'empêcher le tassement des granules quand l'appareil est mis dans la position verticale normale. Une petite pièce de feutre f_1 empêche le contact des granules avec la tête de la vis métallique s_1.

La clef à oreilles TT placée sur une partie carrée du tube *t* permet deux réglages : lorsque l'écrou N est vissé à fond, on peut à l'aide de cette clef faire avancer ou reculer le bouton de charbon C_1 ; lorsque l'écrou est déserré, on provoque à l'aide de cette même clef la rotation de tout l'ensemble de la boîte C, ce qui a pour effet de secouer les granules, opération fréquemment nécessaire dans ce genre de transmetteurs.

Le *récepteur* A. Marr (fig. 7) procède du principe appliqué dans l'excellent instrument Raverot et Combette de 1887. Les perfectionnements ont pour but d'en simplifier la construction et, suivant l'inventeur, d'en augmenter l'efficacité.

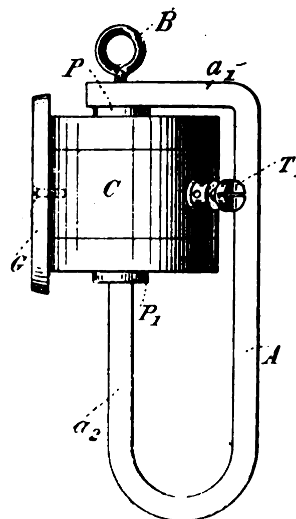


Fig. 7.

Un aimant permanent en fer à cheval A a une de ses branches a_1 plus longue que l'autre et recourbée de façon que son pôle vienne dans le prolongement de l'autre branche a_2. Entre les pôles est fixée une boîte C dont l'axe est occupé par un électro droit.

La boite, cylindrique, est constituée par une

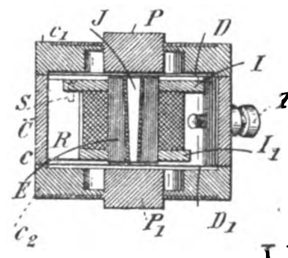


Fig. 8.

partie tubulaire *c* (fig. 8) et deux fonds c_1 et c_2 qui fixent les bords de deux diaphragmes D et D_1 dont les mouvements sont libres grâce aux cavités centrales des fonds. L'électro E se construit en réunissant deux disques I et I_1 par un faisceau de fils de fer doux fortement

serrés dans les orifices des disques par une goupille J enfoncée dans l'axe. Le fil de cuivre est enroulé directement sur ce faisceau en interposant au besoin du papier paraffiné. Les joues de la bobine ainsi formée se fixent à l'aide de vis S sur des ailettes radiales R servant à les centrer.

Les espaces de chaque côté des diaphragmes communiquent par des canaux pratiqués dans les parois avec le cornet acoustique G (fig. 7). La boîte est fixée aux pôles d'aimant par l'intermédiaire des pièces polaires P et P_1. Enfin l'appareil est muni d'un crochet de suspension B.

Le *translateur* dont il a été question plus haut est dû au conseiller des postes M. Munch et appliqué par l'administration téléphonique allemande. Cet appareil n'est autre chose qu'une bobine d'induction cuirassée.

Sur un faisceau de fils de fer de 13 cm de longueur et 3 cm de diamètre verni à la gomme laque et entouré d'une couche de papier sont enroulés successivement les circuits primaire et secondaire séparés par du papier. Le tout est empaqueté dans une cuirasse épaisse de 5 mm formée de fils de fer couchés parallèlement à l'axe.

Chaque enroulement comporte 4 000 tours de fil de cuivre de 0,2 mm isolé à la soie. La résistance du primaire est de 200 ohms, celle du secondaire de 250 ohms.

On fait sur cet instrument quelques expériences avec un alternateur donnant 2,5 volts et dont on faisait varier la fréquence de 350 à 700 périodes par seconde. Les résultats suivants ont été obtenus :

SECONDAIRE	PRIMAIRE :	
	Accroissement de la résistance apparente.	Variation de la self-induction.
Ouvert	de 5500 à 12000 ohms	de 2,240 à 2,440 henry
Fermé sur 500 ohms	de 910 à 940 »	de 0,081 à 0,047 »
» en court circuit	de 460 à 409 »	de 0,042 à 0,040 »

La capacité électrostatique entre les deux enroulements est extrêmement faible, la moyenne des essais a donné 0,00185 microfarad. On n'a pas déterminé exactement le rendement de l'appareil, mais les essais de transmission ont montré qu'il doit être très élevé.

A. HESS.

LE CHAMP MAGNÉTIQUE TOURNANT (1)

Il arrive fréquemment que, dans le but de réduire la vitesse angulaire des moteurs à champ tournant, on dispose les inducteurs polyphasés en plusieurs séries successives complètes. Soit M le nombre de ces séries, occupant chacune une fraction $\frac{1}{M}$ de la circonférence de l'inducteur. Nous supposons encore que le nombre des phases est infini, la densité superficielle du courant le long d'une génératrice distante d'un angle α du plan axial de repère étant $I \sin M\alpha$.

En appliquant, pour le cas de M quelconque, la méthode que nous avons indiquée pour le cas de $M = 1$, on aurait, pour l'ex-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 septembre 1897, p. 451.

pression de la force radiale dans un des plans des zéros de courant :

$$a_M = \int_0^{2\pi} \frac{I \sin M\alpha \sin \alpha d\alpha}{1 + h^2 - 2h \cos\alpha}$$

et pour la force tangentielle dans un des plans des maxima de courant

$$b_M = -\int_0^{2\pi} \frac{I \cos M\alpha (\cos\alpha - h)\ d\alpha}{1 + h^2 - 2h\cos\alpha}.$$

En développant les expressions sin $M\alpha$ et cos $M\alpha$, puis faisant les mêmes substitutions que précédemment, on pourrait arriver à la résolution de ces intégrales, sans autres difficultés que celles du calcul algébrique. Mais les écritures seraient très compliquées. Ainsi que nous allons le montrer, on peut recourir à une méthode plus élégante. Nous établirons les valeurs de a et de b dans le cas de $M = 2$; puis des valeurs obtenues pour $M = 1$ et $M = 2$, nous déduirons la formule générale probable; et nous montrerons que si cette formule est exacte pour deux valeurs successives de M, elle est exacte pour la valeur immédiatement supérieure, ce qui démontrera la généralité de la formule posée.

Cas de M = 2.

Le champ supposé fixe sera dû à une nappe de courant continu, et invariable en chaque point de la nappe cylindrique que nous avons considérée. La densité superficielle du courant sera RI sin α $d\alpha$ (fig. 1, p. 451).

On verra de suite que la force magnétique en un point d'une des plans des zéros de courant est dirigée dans ce plan, et normalement à l'axe. Nous n'aurons donc à nous préoccuper que de la composante radiale des actions magnétiques. En un point du plan des zéros, situé à une distance $H = hR$ de l'axe, la composante radiale da_2 de la force magnétique due au courant élémentaire de largeur $d\alpha$, distant d'un angle α du plan des zéros considéré, sera (fig. 3, p. 452)

$$da_2 = I \frac{\sin 2\alpha . \sin \alpha d\alpha}{1 + h^2 - 2h\cos\alpha}$$

$$= -\frac{I}{h} \frac{\sqrt{1 - \cos^2\alpha} . \cos\alpha . d\cos\alpha}{\frac{1+h^2}{2h} - \cos\alpha}$$

En posant comme dans le premier cas

$$\cos\alpha = \frac{t^2 - 1}{t^2 + 1},$$

on obtient.

$$da_2 = -\frac{16 I}{(1-h)^2} \frac{(t^4 - t^2)\, dt}{(t^2 + p^2)(t^2 + 1)^3}$$

expression dans laquelle

$$p = \frac{1+h}{1-h}.$$

Mais, en décomposant l'expression en t, on obtient :

$$da_2 = -\frac{16 I}{(1-h)^2}\left[\frac{-2\,dt}{(1-p^2)(1+t^2)^3} + \frac{(1-3p^2)\,dt}{(1-p^2)^2(1+t^2)^2} - \frac{p^2(1+p^2)\,dt}{(1-p^2)^3(1+t^2)} + \frac{p^2(1+p^2)\,dt}{(1-p^2)^3(p^2+t^2)}\right].$$

Cette expression doit être intégrée depuis $\alpha = o$ jusque $\alpha = 2\pi$, c'est-à-dire depuis $t = \infty$ jusque $t = o$

Mais,

$$\int_0^\infty \frac{dx}{(1+x^2)^n} = \left[\frac{1}{2(n-1)} \frac{x}{(1+x^2)^{n-1}}\right]_0^\infty + \frac{2n-3}{2(n-1)} \int_0^\infty \frac{dx}{(1+x^2)^{n-1}}$$

d'où l'on déduit par réductions successives

$$\int_0^\infty \frac{dx}{(1+x^2)^n} = \frac{1.3.5\ldots(2n-3)}{2^{n-1}.1.2.3\ldots(n-1)} . \frac{\pi}{2}.$$

De cette formule générale on déduit

$$\int_0^\infty \frac{dt}{(1+t^2)} = \frac{\pi}{2};\quad \int_0^\infty \frac{dt}{(1+t^2)^2} = \frac{\pi}{4};$$

$$\int_0^\infty \frac{dt}{(1+t^2)^3} = \frac{3\pi}{16}.$$

En outre

$$\int_0^\infty \frac{dt}{p+t^2} = \pm \frac{1}{p} \frac{\pi}{2}$$

selon que p est $\pm$, c'est-à-dire selon que le point considéré est intérieur ou extérieur à la circonférence des courants.

On trouvera, toutes réductions faites, que

$$a_2 = \frac{-4\pi I}{(1-h)^2(1-p^2)^3}\left[1 + 6p^2 + p^4 \mp (4p + 4p^3)\right]$$

ou, en remplaçant p par $\frac{1+h}{1-h}$:

$$a_2 = \pi h I \text{ ou } \frac{\pi I}{h^3}$$

selon que le point considéré est intérieur ou extérieur.

Si le point considéré était situé dans le plan des maxima de courant, la force magnétique résultante sera dirigée perpendiculairement à ce plan. Nous n'avons donc à considérer en ce point que les composantes tangentielles des forces magnétiques dues aux divers éléments de courant. La composante tangentielle db_2 de la force due à l'élément $d\gamma$ de courant, distant d'un angle γ du plan des maxima, sera en raisonnant comme nous l'avons fait dans le cas de $M = 1$:

$$db_2 = -I \frac{\cos 2\gamma (\cos\gamma - h)\, d\gamma}{1 + h^2 - 2h\cos\gamma}$$

$$= \frac{I}{2h} d\gamma - \frac{I}{h}\sin^2\gamma d\gamma - \frac{I(1-h^2)}{4h^2} \frac{d\gamma}{\frac{1+h^2}{2h} - \cos\gamma}$$

$$+ \frac{I(1-h^2)}{h} \frac{\sin^2\gamma d\gamma}{1 + h^2 - 2h\cos\gamma}.$$

Intégrons de 0 à 2π. L'intégrale du dernier terme est $\frac{(1-h^2)}{h} a_1$. Les autres termes s'intègrent immédiatement. Il viendra

$$b_2 = \mp \frac{\pi I}{h} + \frac{\pi I (1-h^2)}{h} = -\pi I h \quad \text{ou} \quad + \frac{\pi I}{h^3}$$

selon que le point est intérieur ou extérieur.

Cas général.

Ainsi, l'on a

	a_1	a_2	b_1	b_2
Point intérieur	πI	$\pi I h$	$-\pi I$	$-\pi I h$
» extérieur	$\frac{\pi I}{h^2}$	$\frac{\pi I}{h^3}$	$\frac{\pi I}{h^2}$	$\frac{\pi I}{h^3}$.

La formule générale probable est donc :

	a_M	b_M
Point intérieur	$\pi I h^{M-1}$	$-\pi I h^{M-1}$
» extérieur	$\frac{\pi I}{h^{M+1}}$	$\frac{\pi I}{h^{M+1}}$.

En développant l'expression de b_M on a :

$$b_M = -I \int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha (\cos\alpha - h)\, d\alpha}{1 + h^2 - 2h\cos\alpha}$$

$$= \frac{I}{2h}\int_0^{2\pi} \cos M\alpha\, d\alpha - \frac{1-h^2}{2h} I \int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

$$= \frac{I}{2hM}\left(\sin M\alpha\right)_0^{2\pi} - I\frac{1-h^2}{2h}\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}.$$

Comme le premier terme est nul, on a

$$I\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha} = -\frac{2h}{1-h^2} b_M.$$

Mais on peut encore décomposer b_M autrement.

En effet :

$$b_M = -I\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha \cos\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

$$+ hI\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

ou, d'après le résultat que l'on vient de trouver :

$$b_M = -I\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\cos\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha} - \frac{2h^2}{1-h^2} b_M$$

d'où l'on déduit :

$$b_M \frac{1+h^2}{1-h^2} = -I\int_0^{2\pi} \frac{\cos M\alpha\cos\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}.$$

Comme on a

$$a_M = I\int_0^{2\pi} \frac{\sin M\alpha\sin\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

on pourra écrire

$$a_M + b_M\frac{1+h^2}{1-h^2} = -I\int_0^{2\pi} \frac{\cos(M+1)\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

$$= \frac{2h}{1-h^2} b_{M+1}$$

$$a_M - b_M\frac{1+h^2}{1-h^2} = I\int_0^{2\pi} \frac{\cos(M-1)\alpha\, d\alpha}{1+h^2-2h\cos\alpha}$$

$$= -\frac{2h}{1-h^2} b_{M-1}$$

d'où l'on déduit

$$b_M \frac{1+h^2}{h} = b_{M+1} + b_{M-1}$$

ou

$$b_{M+1} = b_M \frac{1+h^2}{h} - b_{M-1}.$$

Admettons que la formule générale

$$b_M = -\pi I h^{M-1} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi I}{h^{M+1}}$$

(selon que le point considéré est intérieur ou extérieur) soit exacte pour M et pour M — I. On en déduira :

point intérieur;

$$b_{M+1} = -\pi I\left(h^{M-1} \frac{1+h^2}{h} h^{M-2}\right) = -\pi I h^M$$

point extérieur;

$$b_{M+1} = \pi I\left(\frac{1+h^2}{h^{M+2}} - \frac{1}{h^M}\right) = \frac{\pi I}{h^{M+2}}.$$

La formule sera encore exacte pour M + I. Elle est donc exacte en général.

Comme on a aussi

$$a_M = \frac{h}{1-h^2}(b_{M+1} - b_{M-1})$$

la valeur générale de a^M sera

point intérieur;

$$a_M = \frac{-h}{1-h^2}\pi I\,(h^M - h^{M-2}) = \pi I\, h^{M-1}$$

point extérieur;

$$a_M = \frac{h}{1-h^2}\pi I\left(\frac{1}{h^{M-2}} - \frac{1}{h^M}\right) = \frac{\pi I}{h^{M+1}}.$$

La généralité des formules est ainsi démontrée.

Force en un point quelconque. — Nous venons de montrer qu'un système de degré de multiplicité M produit en un point d'un plan des zéros (précédant les valeurs positives) une force radiale

$$\pi I h^{M-1} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi I}{h^{M+1}}$$

et, en un point d'un plan des maxima de courant, une force tangentielle

$$-\pi I h^{M-1} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi I}{h^{M+1}}$$

selon que le point est intérieur ou extérieur à la nappe des courants; h = rapport de la distance du point à l'axe, au rayon de la nappe cylindrique.

Si nous considérons un point situé dans un plan axial faisant avec le plan des zéros choisi comme repère un angle φ, et si nous posons $\alpha = \varphi + \delta$, la densité de courant en une génératrice quelconque du cylindre sera

$$I \sin M\alpha = (I \cos M\varphi) \sin M\delta + (I \sin M\varphi) \cos M\delta.$$

La force au point considéré sera donc la résultante :

1° D'une force radiale due à la distribution

$$(I \cos M\varphi) \sin M\delta$$

par rapport à laquelle le point se trouve dans un plan des zéros;

2° D'une force tangentielle due à la distribution

$$(I \sin M\varphi) \cos M\delta$$

par rapport à laquelle le point se trouve dans un plan des maxima.

Ainsi, en un point quelconque caractérisé par sa distance h R = H à l'axe, et par son angle φ de position par rapport au plan des zéros de la distribution I sin M α (fig. 11), la force magnétique F se compose de deux forces :

	Point intérieur.	Point extérieur.
force radiale vers l'extérieur	$\pi I \cos M\varphi . h^{M-1}$	$\frac{\pi I \cos M\varphi}{p^{M+1}}$
force tangentielle de gauche à droite	$-\pi I \sin M\varphi . h^{M-1}$	$\frac{\pi I \sin M\varphi}{h^{M+1}}$.

Si nous désignons par ψ l'angle que cette force F fait avec le plan radial passant par son point d'application, on aura

$$\text{tang}\,\psi = \frac{\text{composante tangentielle}}{\text{composante radiale}} = \mp \text{tg}\, M\varphi$$

d'où

$$\psi = \mp M\varphi$$

selon que le point est intérieur ou extérieur au cylindre des courants.

D'ailleurs, l'intensité de cette résultante sera

$$F = \pi I b^{M-1} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi I}{b^{M+1}}$$

selon que le point est intérieur ou extérieur.

Ces valeurs se confondent pour $R = 1$, c'est-à-dire que la force ne subit pas de discontinuité *quant à son intensité*, à la traversée de la nappe de courant. Mais cette traversée fait sauter sa dirction de $-M\varphi$ à $+M\varphi$, c'est-à-dire que la force tourne brusquement d'un angle $2M\varphi$ en traversant la nappe de courant. Cet angle est nul pour $\varphi = \frac{\pi}{M}$; et est égal à deux angles droits pour $\varphi = \frac{\pi}{2M}$; valeurs qui correspondent respectivement à des points situés dans les plans des zéros de courant, et dans les plans des maxima.

Lignes de force (fig. 11). — Considérons la section droite du cylindre. Prenons comme axe des x la section d'un plan des maxima ; le plan des zéros fera avec celui-ci un angle $\frac{\pi}{4M}$. En un point intérieur P, la force fait un angle $M\varphi$ avec le rayon vecteur OP ; si l'angle $POx = \theta$, on aura, pour l'inclinaison de la force F sur l'axe des x :

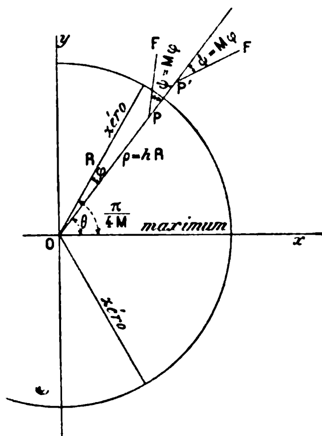


Fig. 11.

$$\theta + M\varphi = \theta + M\left(\frac{\pi}{4M} - \theta\right) = \frac{\pi}{4} - (M-1)\theta.$$

L'équation différentielle des *lignes de force intérieures* sera donc :

$$\frac{dy}{dx} = \text{cotang}\,(M-1)\,\theta.$$

Mais si OP $= \rho$, on a :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\text{tg}\,\theta\,\frac{d\rho}{\rho} + d\theta}{\frac{d\rho}{\rho} - \text{tg}\,\theta d\theta}.$$

L'équation différentielle en coordonnées polaires est donc

$$\frac{\text{tg}\,\theta\,\frac{d\rho}{\rho} + d\theta}{\frac{d\rho}{\rho} - \text{tg}\,\theta d\theta} = \frac{1}{\text{tg}\,(M-1)\,\theta}$$

d'où l'on déduit :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \text{tang}\,M\theta.d\theta$$

et en intégrant

$$\rho^M \cos M\theta = \text{constante C}.$$

L'équation des lignes de force extérieures ne différera de celle des lignes de force intérieures (fig. 11) que parce que l'on aura, pour l'inclinaison de la ligne de force au point P', sur l'axe des x :

$$-(M\varphi - \theta) = -M\left(\frac{\pi}{\varphi M} - \theta\right) + \theta$$
$$= (M+1)\,\theta - \frac{\pi}{4}.$$

Leur équation sera donc :

$$\frac{dy}{dx} = -\ \text{cotang}\ (M+1)\,\theta,$$

ou, en coordonnées polaires :

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\text{tang}\,M\theta.d\theta.$$

qui, intégrée, devient :

$$\frac{\rho^M}{\cos M\theta} = \text{constante C'}.$$

Remarque. — Considérons les deux portions, l'une intérieure, l'autre extérieure, d'une ligne de force passant par un même point

(R, θ_1) de la nappe des courants. Les deux constantes seront déterminées par les relations

$$C_1 = R^M \cos M\theta_1$$

$$C'_1 = \frac{R^M}{\cos M\theta_1}$$

d'où l'on déduit :

$$C_1 C'_1 = R^{2M}.$$

Si nous considérons les rayons vecteurs ρ_1, ρ'_1 de deux points de cette ligne, situés l'un à l'intérieur, l'autre à l'extérieur de la nappe, et sur un même plan axial, on aura :

$$\rho_1 \rho'_1 = R^2.$$

Les vecteurs *intérieurs et extérieurs d'une même ligne de force sont donc conjugués par rapport au rayon de la nappe.*

Surfaces équipotentielles. — Leur intersection avec le plan perpendiculaire à l'axe de la nappe sera la trajectoire orthogonale des lignes de force.

A l'intérieur de la nappe, leur équation sera

$$\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tang}(M-1)\,\theta.$$

ou, en coordonnées polaires :

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{d\theta}{\operatorname{tang} M\theta}$$

qui, intégrée, devient :

$$\rho^M \sin M\theta = C^{te}.$$

A l'extérieur, on aura

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang}(M+1)\,\theta,$$

ou, en coordonnées polaires :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{d\theta}{\operatorname{tang} M\theta}$$

qui, intégrée, devient

$$\frac{\rho^M}{\sin M\theta} = C^{te}.$$

On voit encore que les *deux surfaces équipotentielles, intérieure et extérieure, passant par une même génératrice du cylindre des courants, sont conjuguées par rapport à ce cylindre.*

Comme on a

$$\cos M\theta = \sin\left(\frac{\pi}{\varphi} - M\theta\right) = \sin M\left(\frac{\pi}{4M} - \theta\right)$$

on voit encore que *le système des intersections des surfaces équipotentielles, tant intérieures qu'extérieures, par un plan perpendiculaire à l'axe de la nappe de courant, se confondra avec le système des lignes de force si on le déplace d'un angle $\frac{\pi}{4M}$ par rapport à cet axe.*

La sixième partie du champ magnétique est représentée, dans le cos de $M = 3$, par la figure 12.

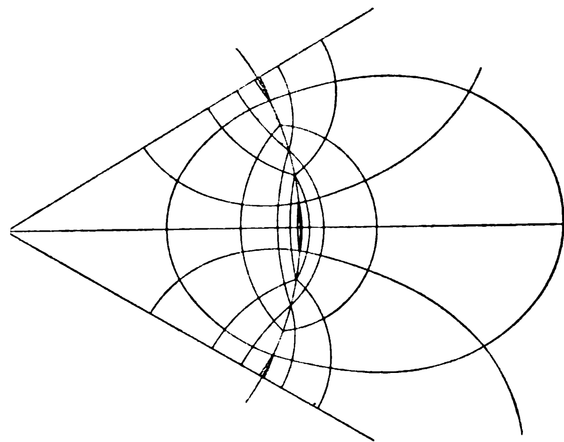


Fig. 12.

En résumé :

Une distribution cylindrique *fixe* de courant $I \sin M\alpha$ produit un champ magnétique dont l'intensité en chaque point ne dépend que de la distance hR à l'axe du cylindre, et est égale à

$$\pi I h^{M-1} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi I}{h^{M+1}}$$

selon que h est < ou > que l'unité. Les lignes de force sont représentées, en comptant les angles à partir d'un plan des maxima de courant, par les équations

$$\rho^M \cos M\theta = \text{constante, à l'intérieur}$$

$$\frac{\rho^M}{\cos M\theta} = \text{constante, à l'extérieur.}$$

Les deux portions sont conjuguées par rapport au cylindre.

Les surfaces équipotentielles sont des surfaces cylindriques représentées par les mêmes équations, si l'on compte les angles θ à partir d'un plan des zéros de courant.

Remarque. — Ces équations se simplifient dans les cas particuliers.

Si $M = 1$, on obtient

$\rho \cos \theta = C$ (ligne droite perpendiculaire au plan des maxima).

ou

$\frac{\rho}{\cos \theta} = C$ (circonférence passant par l'axe et dont le centre est dans le plan des maxima).

Si $M = 2$,

$$\rho^2 \cos 2\theta = C \text{ (hyperbole équilatère)}$$

ou

$$\frac{\rho^2}{\cos 2\theta} = C \text{ (lemniscate).}$$

Le champ tournant. — Enfin, si au lieu de la distribution continue $I \sin M\alpha$ que nous avons considérée, nous avons une *une distribution alternative infiniphasée*, cela revient à faire tourner le champ avec une vitesse uniforme autour de l'axe. On verra immédiatement :

1° *Que le champ reste constant en grandeur en tous les points de l'espace*, puisque son intensité ne dépend que de la quantité h ;

2° *Que la direction du champ en chaque point tourne avec une vitesse angulaire uniforme, égale à* M *fois la vitesse de rotation du plan des zéros de courant, c'est-à-dire avec une fréquence égale à celle des courants alternatifs eux-mêmes ;*

3° *Que cette rotation s'effectue, à l'intérieur de la nappe, dans le même sens que celle du plan des zéros de courant, et, à l'extérieur de la nappe, en sens contraire.*

Le champ est donc bien véritablement un champ tournant : en chaque point de l'espace, son intensité reste constante, et elle tourne avec une vitesse constante.

Oscar Colard,
Ingénieur des Télégraphes belges.

SUR LES UNITÉS MAGNÉTIQUES [1]

VI. — Nous sommes maintenant en possession de tous les éléments nécessaires pour examiner la question des unités magnétiques. Résumons tout d'abord les formules de dimension que nous avons établies jusqu'à présent.

Remarquons que dans toutes ces formules le facteur $M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ reste inaltéré. Les deux seules quantités dont l'exposant varie sont K et L. Il résulte de là qu'il nous est impossible d'avoir, puisque nous ignorons complètement la nature de K, des *unités absolues* des quantités magnétiques.

Pour avoir un système, qui ne sera plus dès lors absolu, mais aura simplement une valeur limitée aux applications de la pratique, il est de toute nécessité de fixer *par une hypothèse arbitraire* la nature et la valeur de K dans le vide, par exemple.

Les deux hypothèses qu'on fait le plus ordinairement, *et qui sont toutes deux certainement inexactes*, consistent à faire soit K égal à l'inverse du carré de la vitesse de la lumière, ce qui constitue le *système électrostatique ;* soit K égal à l'unité, ce qui constitue le *système électromagnétique.*

Ce dernier, qui est de beaucoup le plus employé, est le seul que nous considérerons.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 18 septembre, p. 529.

NATURE DES QUANTITÉS	DIMENSIONS ABSOLUES
1° Quantité de magnétisme ou pôle magnétique. 2° Flux d'induction. 3° Aimantation induite.	$K^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
4° Potentiel magnétique 5° Force magnétomotrice. 6° Intensité de courant électrique.	$K^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
7° Intensité du champ magnétique. 8° Induction magnétique	$K^{-\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
9° Flux de force magnétique.	$K^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
10° Intensité d'aimantation.	$K^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
11° Puissance d'un feuillet.	$K^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
12° Perméabilité magnétique.	O
13° Réluctance.	L^{-1}
14° Susceptibilité magnétique.	K^{-1}

Dans ce système, les formules de dimensions prennent les valeurs ci-dessous :

Quantité de magnétisme ou pôle magnétique. Aimantation induite. Flux d'induction. Flux de force.	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Potentiel magnétique. Force magnétomotrice. Puissance d'un feuillet. Intensité de courant électrique.	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Intensité du champ magnétique. Induction magnétique. Intensité d'aimantation.	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
Perméabilité magnétique. Susceptibilité magnétique	O
Réluctance.	L^{-1}

Les seules grandeurs figurant dans ces formules étant L, M, T pour lesquelles on a adopté d'une manière générale en physique les unités, centimètre, gramme, seconde, on a ainsi tout un *système d'unités magnétiques* définies par leurs relations avec ces unités, et qu'on appelle pour cette raison *système électromagnétique C. G. S.*

C'est ainsi qu'un pôle magnétique qui exercera sur un pôle égal placé à un centimètre une action de 1600 dynes sera dit valoir $\sqrt{1600} = 40$ *unités électromagnétiques C. G. S.*

Une première question se pose ici, qui n'a pas encore été tranchée. Cette désignation pour la valeur d'un flux ou d'un champ du nombre qui l'exprime suivi de la dénomination *unités électromagnétiques C. G. S.* suffit-elle aux besoins, ou ne conviendrait-il pas de donner des noms spéciaux aux principales de ces unités ?

La réponse pour nous n'est pas douteuse. Si certains savants contestent l'utilité de donner des noms aux principales unités magnétiques, par le scrupule très honorable de ne pas charger le glossaire scientifique de nouvelles dénominations, c'est principalement parce qu'ils ont peu d'applications pratiques à faire. Mais pour ceux qui ont à faire des applications constantes des grandeurs magnétiques, dans les dynamos, les transformateurs, les bobines de réactance, etc., il ne suffit pas d'avoir affaire à une chose abstraite qu'on décore du nom d'unité, il faut avoir à opérer sur quelque chose de concret, avec quoi on puisse se familiariser pour agir sans réfléchir, en quelque sorte, dans le maniement des grandeurs.

Jamais personne n'a songé à exprimer le poids d'un colis en disant : il pèse tant d'unités G. G. S. ; on dit : il pèse tant de grammes, ou tant de kilogs, ou tant de tonnes ; et si on n'avait pas fixé de nom pour ces unités, le public aurait eu rapidement fait d'en créer.

C'est pour le même motif qu'on a créé le *volt*, l'*ohm*, l'*ampère* et le *watt*, parce qu'on

s'est bien rendu compte que, si on ne donnait pas de nom à ces unités dont on a constamment à se servir, il se créerait des noms tout seuls, et que ces noms risqueraient de ne pas être adéquats aux quantités à représenter. On ne voit pas bien un électricien de station centrale disant : tel galvanomètre marque 450 *unités électromagnétiques pratiques de différence de potentiel*, tel autre indique 700 *unités électromagnétiques pratiques d'intensité de courant*.

Il est indispensable, comme le pensent l'A. I. E. E. (American Institute of Electrical Engineer), M. O. Lodge, M. Hospitalier et M. Blondel, notamment, de donner aux principales unités magnétiques des noms courts et maniables qui les rendent tangibles.

VII. — Une seconde question se pose dès lors, sur laquelle l'accord n'est pas fait davantage. A quelles unités doit-on donner des dénominations spéciales, et quelles sont les dénominations à adopter ?

L'A. I. E. E. et M. Hospitalier ont proposé le système suivant :

QUANTITÉ	SYMBOLE	NOMS	VALEUR
Intensité du champ.	H	Gauss	Unités électro-magné-tiques C. G. S.
Induction.	B	Gauss	
Flux de force.	Φ	Weber	
Réluctance.	R	Œrsted	
Force magnéto-motrice.	F	Gilbert	

A part le *flux de force* qu'il conviendrait de remplacer par le *flux d'induction*, qui est la quantité réellement employée dans l'industrie, et la *réluctance* dont on peut discuter l'opportunité, les quantités auxquelles on donne des unités spéciales sont bien choisies.

Examinons la valeur de la *réluctance* ou *résistance magnétique*. Supposons, comme on le fait presque toujours dans l'enseignement pour avoir des démonstrations très élémentaires, avoir affaire à un champ magnétique uniforme H. Un cylindre parallèle aux lignes de force, de longueur l et de section S, supposé dans l'air contiendra un flux d'induction dont l'expression sera d'après (8) et (5)

$$\Phi = K \frac{ES}{l}.$$

Dans le fer ce flux sera le même

$$\Phi = \frac{K'ES'}{l'} = \frac{KES'\mu}{l'}.$$

Ce flux peut s'écrire dans le système électromagnétique :

$$\Phi = \frac{E}{\frac{l}{S}} = \frac{E}{\frac{l'}{S'\mu}}.$$

de sorte que si l'on considère un cylindre situé dans différents milieux et que E soit la force magnétomotrice entre les extrémités, le flux sera

$$\Phi = \frac{E}{\sum \frac{l}{S\mu}}. \qquad (25)$$

On a voulu voir dans le dénominateur de Φ l'analogue de la résistance électrique dans la loi d'Ohm et on l'a dénommé *résistance magnétique*, puis *réluctance*, car la science britannique n'a pas de scrupules à forger des mots nouveaux.

Il existe cependant entre la *résistance* et la *réluctance* deux différences essentielles. La première est que le flux magnétique ne crée pas un champ électrique comme l'intensité électrique crée un champ magnétique. La seconde, plus grave encore, est que la *résistivité* d'une substance est une quantité bien définie tandis que la *réluctivité* dépend de B et par conséquent à la fois de Φ et de S.

L'équation (25) est donc bien loin de pouvoir rendre les mêmes services que la loi d'Ohm. Elle est cependant dans bien des cas d'un usage assez commode, de telle sorte qu'on peut admettre la création d'une unité de réluctance.

Les noms de *gauss* et de *weber* présentent

tous deux les caractères constitutifs d'une bonne dénomination. Mais le nom d'*Œrstedt* est peu euphonique, et *Gilbert* nous paraît trop peu important pour prendre place dans la science avant les *Maxwell* et les *Thomson*. Le nom de *Kelvin* se prononce et s'écrit facilement ; quant à celui de *Maxwell*, si on le trouve trop long, il est aisé de le décapiter comme on a fait pour *Volta* et *Faraday ;* l'abréviation *maxel* nous paraîtrait à la fois facile à prononcer et suffisamment courte.

Nous proposerons dans le *gauss*, le *weber*, le *maxel* et le *kelvin* respectivement pour l'*intensité de champ*, le *flux d'induction*, la *réluctance* et la *force magnétomotrice*.

VIII. — Reste à examiner la troisième question qui est vraisemblablement celle sur laquelle le désaccord est le plus profond : quelles sont les valeurs à attribuer à ces unités ?

Il nous semble qu'étant donné l'existence du *système électromagnétique pratique* et les relations (21) et (24), le doute n'est pas possible. Il ne nous paraît pas admissible de prendre pour des phénomènes aussi intimement liés que le *magnétisme* et l'*électromagnétisme* deux systèmes différents d'unités pratiques donnant dans les calculs qu'on fait à chaque instant des valeurs différentes pour une même quantité aussi importante que l'*intensité de courant*. Cette anomalie est cependant proposée de divers côtés.

En 1893, l'A. I. E. E. avait proposé un système en concordance avec le système de l'*ohm* et de l'*ampère*. Cette proposition fut rejetée en France à la suite de l'objection faite par M. Pellat que, l'unité de longueur valant 10^9 cm, on aurait dans les calculs de flux et d'induction à faire intervenir le facteur 10^9 ou 10^{-9}, ce qui pourrait entraîner des erreurs par omission.

Cette objection ne nous paraît pas porter pour deux motifs :

Le premier est que dans le *système électromagnétique pratique* toute *résistance* étant proportionnelle à la *longueur* et inversement proportionnelle à la *surface*, on a dans leur calcul constamment à se souvenir que l'unité de longueur est de 10000 km. Personne n'en a jamais argué pour demander la suppression du système pratique.

Le second est que, si M. Pellat supprime les facteurs 10^{10} et 10^{-8} dans le calcul de l'induction et du flux, il rend nécessaires les facteurs 10^{-1} et 10^{-8} dans le calcul de la force magnétomotrice et de la force électromotrice d'une dynamo, ce qui n'est pas plus avantageux.

Il nous paraît donc préférable d'adopter franchement le *système pratique* et nous allons voir qu'on parvient ainsi à des résultats satisfaisants. En reprenant les équations (25), (24), (5'), (8) et (7), on définit les unités de la manière suivante :

Le *maxel* est égal à 10^{-9} unités C.G.S.

Le *kelvin* est la force magnétomotrice produite par une spire parcourue par un courant de un ampère divisée par 4π, sa valeur est de 10^{-1} unité C.G.S.

Le *gauss* est égal à un *kelvin* par *quadrant* (le quadrant étant *par définition* pris égal à 10^9 cm et non pas à la valeur exacte du quart du méridien terrestre, comme on l'a dit après le congrès de 1889 pour imposer le *henry*). Sa valeur est de 10^{-10} unités C.G.S.

Le *weber* est égal à un *gauss* par *quadrant carre*, sa valeur est de 10^8 unités C.G.S.

Enfin, l'*unité de pôle magnétique* est égal à 4π webers.

Cherchons à nous rendre compte de la grandeur des quantités usuelles en fonction de ces unités.

Les *réluctances* employées généralement sont de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-3} C.G.S. Le *mégamaxel* conviendra donc particulièrement pour les grandes réluctances et le *kilomaxel* pour les petites.

Le *kelvin*, étant de l'ordre de l'unité C.G.S., sera sensiblement du même ordre de commodité.

On aura la valeur de la force magnétomotrice en *kelvins* en faisant simplement le produit du nombre d'ampères par le nombre de tours de fil et par 4π.

Les inductions sont généralement de l'ordre de 10000 à 20000 C.G.S. et par conséquent de l'ordre de 10^4 gauss.

Enfin les *flux* des machines modernes à vitesse modérée sont de l'ordre du *weber*, de sorte que cette unité convient parfaitement.

De plus, il n'y a qu'à faire le produit du *nombre de tours par seconde* par le *nombre de spires en série* sur l'induit et par le *flux en webers* pour avoir la *force électromotrice* de la dynamo exprimée en *volts*.

Le système proposé est donc des plus convenables sauf en ce qui concerne le *gauss*. Mais cette objection est facile à lever.

On a créé une série de préfixes, dont quatre seulement sont couramment employés, pour désigner la plupart des multiples et sous-multiples des unités de 10^{-6} à 10^6. Il ne nous paraîtrait pas exagéré d'augmenter cette liste d'une unité en créant le multiple 10^{12} (qui est le carré du *méga* comme ce dernier est le carré du *kilo*) qu'on pourrait par exemple appeler *super*.

On emploierait ainsi dans la pratique le *supergauss* avec la même facilité que le *mégohm*, le *kilowatt* ou le *microfarad*, et on n'aurait plus besoin du quadrant terrestre. On aurait en effet

$$\frac{1\ \text{Weber}}{10^8\,\text{C.G.S.}} = \frac{1\ \text{Supergauss}}{10^2\,\text{C.G.S.}} \times \left(\frac{\text{longueur } 1}{10^x\,\text{C.G.S.}}\right)^2.$$

D'où

$$x = 3.$$

La surface à employer dans cette transformation serait donc le *décamètre carré*, ce qui rendrait les opérations aussi faciles que les calculs actuels avec les réluctances exprimées en unités C.G.S.

On ferait donc en général la succession d'opérations suivante :

E étant la force électomotrice que doit donner une dynamo, en volts, n le nombre de tours que fera l'induit par seconde et n' le nombre de spires en série que l'on veut mettre sur l'induit, le *flux* en *webers* sera donné par la formule

$$\Phi = \frac{E}{nn'}.$$

Ce nombre de *webers* divisé par les surfaces respectives en *décamètres carrés* donnera les inductions en *supergauss*. On en conclura les *perméabilités* et calculera les *réluctances* en *maxels*. Le produit des *maxels* par le flux donnera la *force magnétomotrice* en *kelvins* et le quotient des *kelvins* par 4π donne les *ampères tours d'excitation*. Telle est la marche très simple des calculs.

En résumé, le système que nous proposons pour les unités magnétiques est le suivant :

QUANTITÉS	SYMBOLES	NOMS	Valeur en C. G. S.	DÉFINITION des quantités.
Force magnétomotrice.	F	Kelvin.	10^{-1}	4π ampères-tours
Réluctance	R	Maxel.	10^{-9}	On emploiera souvent le mégamaxel.
Flux d'induction	Φ	Weber.	10^8	Kelvins par Maxel.
Intensité du champ. Induction.	H B	Supergauss	10^2	Webers par décamètre carré en tenant compte de la perméabilité

IX. — Quel que soit l'accueil qui est réservé à ce nouveau système d'unités magnétiques, qui est au moins le cinquième depuis cinq ans, nous serons heureux si nous réussissons à faire reprendre cette question. Elle est en effet des plus importantes pour les calculs de l'induction, qu'on l'applique aux dynamos, aux alternateurs, aux transformateurs ou aux moteurs, et comme sa solution a été ajournée *sine die* par le Congrès de Genève, sans qu'il ressorte de la discussion aucune indication nette sur le sens dans lequel il conviendrait de rechercher un terrain d'entente, il nous paraîtrait extrêmement désirable qu'elle fût reprise sans retard, et

qu'une Commission fût chargée de trouver une solution acceptable par l'A.I.E.E. les Instituts anglais et les savants du Continent.

Cette tâche ne laisse pas que d'être ingrate à cause de la grandeur numérique des quantités en jeu qui oblige à faire intervenir des puissances de 10. Mais on est assez habitué depuis treize ans au *système électromagnétique pratique* pour qu'il n'y ait pas lieu de s'effrayer outre mesure de cette obligation.

Outre la satisfaction d'avoir présenté un système qui nous parait présenter certains avantages sur les précédents, nous croyons avoir fait de la théorie du magnétisme un exposé sommaire plus correct que ceux qui ont généralement cours et avoir montré que la négligence complète du *pouvoir inducteur magnétique*, qui n'est pas une véritable simplification puisqu'on doit faire intervenir à chaque instant la *perméabilité magnétique*, risque de produire des idées fausses d'autant plus graves qu'elles revêtent une forme scientifique.

E. Brylinski,
Ingénieur des Télégraphes.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Isolateur démontable R. Deléry[1].

Construit, en matière isolante quelconque, porcelaine, ébonite, verre, etc., cet isolateur que représentent les figures 1 à 3 est formé

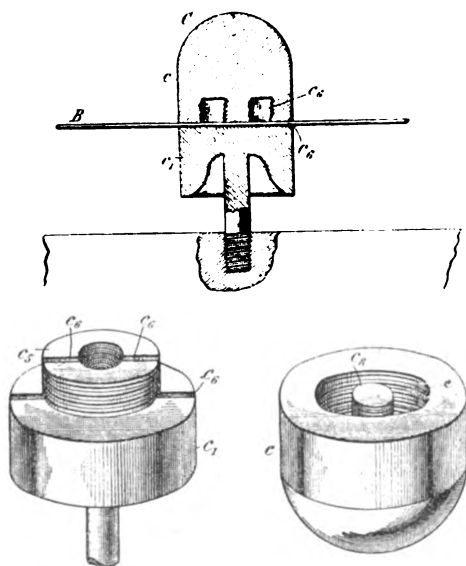


Fig. 1 à 3. — Isolateur démontable R. Deléry.

de deux parties démontables. L'une d'elles c_1, fixée au support, porte un plateau c_5 fileté intérieurement et extérieurement pour recevoir les filets correspondants du couvercle c (fig. 3). Le fil ou câble B à supporter est logé dans la fente diamétrale c_6 et le couvercle que l'on adapte ensuite est vissé à fond pour l'empêcher de glisser.

Cet isolateur présente l'avantage de supprimer les attaches à l'aide desquelles on assujettit les fils aux isolateurs à cloche ou ceux d'autres systèmes ; de plus, il rend l'égalisation des flèches extrêmement aisées ; enfin son remplacement est des plus facile. L. D.

(1) Brevet anglais, N° 4064, présenté le 15 février 1897, délivré le 19 juin 1897.

Sur l'utilisation pour le chauffage de la vapeur d'échappement des usines d'électricité.

Les premières stations centrales pour la distribution de la chaleur par la vapeur d'eau ont été établies, en Amérique, vers 1885. Elles ne donnèrent pas, d'abord, de bons résultats financiers; mais grâce aux perfectionnements qui ont été introduits dans la construction et dans l'exploitation, plusieurs usines de ce genre ont, depuis, été exploitées avec succès. Lorsqu'on en combine l'exploitation avec celle d'une station centrale d'électricité, on se trouve dans de bien meilleures conditions, parce qu'on utilise, pour la distribution de chauffage, la vapeur d'échappement qui constitue un *sous-produit* de l'exploitation principale.

M. J.-H. Babcock (¹) faisait ressortir dernièrement l'importance que pouvait prendre cette industrie annexe; d'après lui, c'est le meilleur moyen d'assurer l'exploitation rémunératrice de toutes les stations centrales; il affirmait, à l'appui de son dire, que plusieurs usines après avoir adopté cette méthode, au lieu de solder leur bilan de fin d'année par une perte, comme auparavant, ont pu déclarer des dividendes de 6 ou 8 p. 100. Il ne citait aucun nom.

La distribution de chauffage par la vapeur d'échappement a été adoptée par les usines électriques de Springfield, Saint-Joseph, Terre-Haute, Danville, etc La *Street Railway Review* publiait dernièrement les résultats obtenus par la Danville Electric Light and Power Company. Environ 610 m de canalisations souterraines dont le diamètre varie de 15 à 30 cm, servent à distribuer la vapeur dans les immeubles industriels voisins de l'usine, dans l'Hôtel de Ville, le Palais de Justice, et un hôtel; en tout 15 « blocs » ou pâtés de maisons sont desservis. Le volume total des espaces chauffés est de 45000 à 60000 m³ et les recettes annuelles de ce chef sont d'environ 50000 fr.

Cette usine se trouve dans une situation excellente pour une exploitation de ce genre, car sa charge diurne, assez élevée, nécessite la mise en marche de deux groupes de 125 chevaux, ce qui est amplement suffisant pour le service du chauffage, sans qu'il soit besoin de lancer dans les canalisations de la vapeur sortant directement des chaudières. Les ingénieurs de la compagnie estiment que dans une usine où la charge diurne est en proportion convenable avec la charge nocturne, tous les frais entraînés par la chaufferie : combustible, eau, salaires, entretien, peuvent être payés par la vente de chaleur. Ils pensent même qu'on pourrait, dans certains cas, tirer profit de l'utilisation de la vapeur directe des chaudières; mais cette opinion n'est pas toujours admise. Il faut remarquer aussi que l'hiver américain est plus rude que dans nos contrées.

Nous ne pouvons donner ici la description détaillée des systèmes de distribution de vapeur; nous dirons simplement que les canalisations sont formées par des tubes en fonte placés dans des blocs de bois de pin percés d'un trou du diamètre des tubes; l'enveloppe en bois a au moins 10 cm d'épaisseur; elle est, en outre, recouverte d'une épaisse couche d'asphalte. La perte, par rayonnement, est ainsi très réduite : 5 p. 100 environ. Il faut disposer, de distance en distance, des parties élastiques permettant la dilatation et la contraction des tubes, car il se produit une variation de longueur de 11,5 cm environ par 100 m de canalisation, lorsque la température varie de 10° à 100° C.

Deux systèmes sont en présence pour assurer la circulation de la vapeur : dans l'un d'eux, on laisse à la vapeur une certaine pression (environ 0,5 kg : cm² au-dessus de la pression atmosphérique); dans le second, la pression est réduite au minimum et la circulation est assurée en faisant le vide à une des extrémités des canalisations. Ce dernier système est préférable, parce qu'il évite toute contre-pression derrière les pistons des moteurs, contre-pression qui diminue la puissance utile des moteurs et est particulièrement nuisible dans le cas de moteurs compound marchant à faible charge (¹).

G. P.

(¹) Exploitation économique des stations centrales, *The Electrical Engineer* (N.-Y.), t. XXIV, 8 juillet 1897.

(¹) Voir aussi G.-L. Thayer. Utilisation of Exhaus Steam. *The Electrical World*, 31 juillet 1897, t. XXX, p. 130.

Les dimensions, poids et prix relatifs des machines dynamo;

Par Ernest Wilson (²).

Dans la construction des machines dynamo, il est important de considérer entre autres quantités la puissance fournie par une ma-

(²) Communication faite à l'Institution of Electrical Engineers, d'après *The Electrician*.

chine à une certaine vitesse de rotation. La quantité

$$\frac{\text{Volts} \times \text{ampères}}{\text{Nombre de tours par minute}}$$

que l'auteur appelle « le facteur de masse », donne, sous certaines réserves, une idée des dimensions ou de la masse de la machine. Ces réserves sont nombreuses; la différence de potentiel aux bornes, par exemple, peut être changée, pour une vitesse angulaire donnée, en modifiant les conducteurs de l'induit, ou encore, le nombre des conducteurs étant constant, en faisant varier le champ. Dans le premier cas, il faut tenir compte de l'augmentation relative de la quantité de matière isolante et de la variation qui en résulte pour la densité de courant dans les conducteurs si la même puissance doit être obtenue dans des conditions d'échauffement données. Dans le second cas, on peut modifier le poids du fer des inducteurs; mais comme le bâti de la machine, les paliers, l'armature, etc., forment une grande partie du poids total, le changement de poids des inducteurs se fera peu sentir sur l'ensemble. Enfin, la température d'équilibre de l'induit en charge est elle-même une fonction de la vitesse, de même que la réaction d'induit et le rendement.

Malgré la complexité de la question, il n'est pas douteux que la considération de ce facteur de masse peut être très utile pour le constructeur. Quand il s'agit, par exemple, d'un type de machine donné comme la machine bipolaire à induit en tambour si employée aujourd'hui dans les stations centrales, une des dimensions les plus caractéristiques est le diamètre de l'induit; une autre encore est la largeur des inducteurs dans le sens parallèle à l'axe. On peut construire une courbe du facteur de masse en fonction du diamètre de l'induit. Pour chaque diamètre on a une série de valeurs de $\frac{V \times A}{n}$ en faisant varier la largeur de l'inducteur, son épaisseur, ou les deux dimensions simultanément. Cette courbe montre qu'aux accroissements successifs du diamètre correspondent des variations de plus en plus grandes du facteur de masse, c'est-à-dire que le diamètre tend vers un maximum. Il est évident que les courbes qu'on peut établir pour les différentes maisons de construction sont très variables, quoique s'appliquant à un même type de machines.

L'objet de l'auteur est de rechercher comment varient, pour les différents constructeurs, le poids et le prix des machines avec le facteur de masse. Les nombres qu'il donne se rapportent à des maisons anglaises et sont basés sur les résultats les plus récents. En ce qui concerne le poids de la dynamo, il faut remarquer que pour un même poids on peut faire varier considérablement la puissance à une vitesse donnée. Il faut tenir compte du rendement et de l'échauffement admis.

Les courbes tracées par l'auteur montrent, en somme, qu'au début le poids augmente assez vite avec le facteur de masse et deviennent ensuite des droites; de même pour le prix, l'augmentation est plus marquée au début. On remarque qu'à ces deux points de vue les différentes maisons de construction de machines bipolaires arrivent, à une ou deux exceptions près à des résultats analogues [1]. Dans les grandes dimensions, pour un facteur de masse de 110 par exemple, les machines multipolaires sont plus avantageuses.

Pour les alternateurs, on remarque entre les différentes maisons de plus grandes différences, quant aux prix, que pour les machines à courant continu. Les alternateurs sont en général plus chers, mais le poids est approximativement le même que celui des dynamos jusqu'à un facteur de masse de 100 à 120.

M. S.-P. Thompson fait remarquer que la vitesse linéaire périphérique fournit une meilleure base de comparaison que la vitesse an-

[1] Ce fait n'a rien de surprenant, étant donné que les constructeurs font presque tous leurs calculs sur les mêmes bases et que la concurrence nivelle les tarifs.

gulaire. Or, si l'on multiplie par la vitesse angulaire les deux quantités dont M. Wilson a étudié la relation, facteur de masse et diamètre, on obtient précisément la puissance de la machine en fonction de la vitesse linéaire ; les courbes données renseignent donc également sur ce point.

La question de la meilleure utilisation spécifique des matériaux a été très discutée il y a quelques années. Rappelons, entre autres, l'étude de M. Sayers (¹) sur les moyens de combattre la réaction d'induit. C'est dans cette voie que l'on arrivera à alléger les dynamos, surtout s'il devenait pratique de faire produire à l'armature son propre champ, ce qui permettrait de supprimer l'enroulement des inducteurs.

On a encore fait remarquer que les prix des catalogues n'apprennent pas grand chose et qu'il faudrait en déduire les escomptes très variables, ou mieux encore, il faudrait comparer les prix de revient, mais ces renseignements sont difficiles à obtenir.

A. H.

L'éclairage électrique des trains du chemin de fer du Nord ;

Par E. Sartiaux (²).

L'éclairage électrique est appliqué sur un certain nombre de voitures de toutes classes, sur les voitures de luxe, quelques fourgons et de nombreuses voitures du service des postes.

Sur les voitures ordinaires le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs de 16 éléments montés en tension. Chaque élément est constitué par un vase en matière isolante et inattaquable aux acides contenant 7, 9, 11 ou 13 plaques de 10 cm de large sur 20 de haut, selon la durée d'éclairage à obtenir, durée qui varie de 30 à 50 heures. Les plaques négatives ont 6 mm d'épaisseur, les positives 7 mm ; le poids des premières est de 0,98 kg, celui des secondes 1,5 kg. Chaque élément avec ses accessoires pèse :

Éléments à	7 plaques.	15,200 kg.
»	9 »	17,700 »
»	11 »	19,260 »
»	13 »	20,740 »

Les éléments sont disposés deux à deux dans un panier en osier pesant 0,800 kg, les protégeant des chocs et facilitant la manutention. Deux de ces paniers sont placés dans un coffre A (fig. 1) fixé aux châssis de la voiture et muni d'une porte B qui se rabat horizontalement et reste maintenue dans cette position par deux attaches en fer de manière à faciliter la manœuvre des accumulateurs ; cette porte est fermée à l'aide de deux verrous fonctionnant avec une clé triangulaire indépendante et est en outre muni d'un dispositif permettant de la plomber pour le cas où les voitures doivent franchir les frontières. Chaque voiture possède quatre coffres disposés vers le milieu, deux d'un côté, deux de l'autre ; souvent les deux coffres d'un même côté sont accolés l'un à l'autre et ne constituent plus alors qu'un seul coffre avec séparation. L'intérieur de ces coffres est peint à l'huile, puis goudronné à chaud.

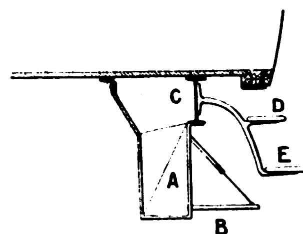


Fig. 1. — Disposition des coffres sous le châssis de la voiture : A, coffre ; B, porte ; C, longeron du châssis ; DE, marchepied.

Sur l'une des parois latérales d'un des coffres et à l'extérieur est fixé un commutateur servant : 1° à relier les pôles extrêmes de la batterie aux prises de courant de charge ; 2° à relier le fil négatif du circuit d'éclairage au pôle négatif du premier élément et, en même temps, le fil positif au pôle positif du 14ᵉ, 15ᵉ ou 16ᵉ élément. Les prises de courant

(¹) *La Lumière Électrique*, t. XLIX, p. 427, 1893.

(²) *Annales Télégraphiques*, 3ᵉ série, t. XXIII, p. 131-146.

sont constituées par des pattes métalliques dont la section est rectangulaire (—) pour la négative et en forme de croix (+) pour la positive; les extrémités des câbles amenant le courant de charge sont munies de cavités de formes correspondantes, ce qui permet d'éviter toute erreur de connexion. Pendant la décharge on prend 14, 15 ou 16 éléments afin de maintenir une différence de potentiel sensiblement constante aux bornes des lampes, quel que soit l'état d'épuisement de la batterie. Le commutateur est enfermé dans une boîte.

Les connexions des quatre groupes de deux éléments entre eux et au commutateur sont effectuées à l'aide de 7 câbles fixés sous la caisse de la voiture. Pour permettre la séparation de la caisse et du châssis sans produire l'arrachement d'aucun conducteur, chacun d'eux est formé de deux tronçons, fixés l'un au châssis, l'autre à la caisse et reliés au moyen d'une borne de jonction à écrou abritée par un couvercle en zinc.

L'allumage ou l'extinction de toutes les lampes d'une voiture se fait par un interrupteur ou commutateur logé dans un abri en zinc, fixé à l'une des extrémités de la caisse sous les supports des lanternes-signaux d'angles adoptés à chaque voiture. Ce commutateur est constitué par un cylindre dont la surface latérale présente deux secteurs métalliques et deux secteurs isolants; sur cette surface s'appuient deux frotteurs intercalés sur le circuit des lampes. Il suffit donc de tourner le commutateur de 90 degrés pour allumer ou éteindre celles-ci, manœuvre qui peut être faite, au moyen d'une tringle de commande, en longeant le train soit sur les marchepieds, soit sur le quai où il est en stationnement.

La connexion des lampes au circuit d'éclairage s'effectue à l'aide d'un appareil appelé contact double à pistons que représente la figure 2. Sur un socle V en bois préparé sont fixées deux bornes B et B′ auxquels aboutissent deux fils de dérivation du circuit principal; ces bornes sont également reliées à deux pistons P et P′ constamment poussées par des ressorts à boudins et qui viennent en

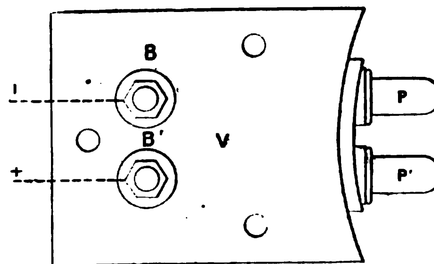


Fig. 2. — Contact double à piston : V, support en bois préparé; B, B', bornes; P, P', contacts à pistons.

contact avec deux pièces métalliques C C′ (fig. 3) du support de lampe.

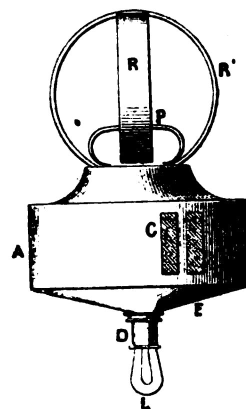


Fig. 3. — Support de lampe : A, calotte en zinc ; E, réflecteur en tôle émaillée ; D, douille ; L, lampe ; C, C', contacts ; P, poignée ; R, R', ressorts.

Celui-ci se compose d'une calotte en zinc A, portant un réflecteur en tôle émaillée très blanc E, une douille D, une lampe à incandescence L et les deux contacts électriques C C′ dont il vient d'être question; sur la calotte est fixée une poignée P pour enlever l'appareil, et des ressorts métalliques R R′ destinés à maintenir l'appareil dans la lanterne. Le support est construit de façon à pouvoir être remplacé par des lampes à huile et à permettre ainsi à volonté la substitution d'un éclairage à l'autre. Les lampes sont de 25 volts et ont une intensité lumineuse de 6 à 8 bougies.

La lanterne (fig. 4) porte un trapillon T en fibre vulcanisée qui peut monter ou descendre et par conséquent cacher ou rendre

apparents les contacts CC′ pour le cas de la substitution d'une lampe à huile à la lampe

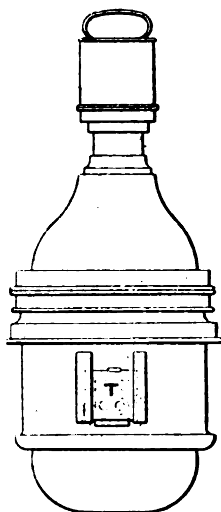


Fig. 4. — Lanterne : T trapillon.

électrique et réciproquement. La coupe en cristal qui protège la lampe est du modèle des premières classes pour toutes les voitures.

Les conducteurs du circuit d'éclairage sont fortement isolés au caoutchouc et recouverts d'une épaisse gaine en plomb; ils courent le long de la toiture de la caisse et sous celle-ci, et y sont fixés au moyen de cavaliers en fer étamés.

Dans le cas des fourgons les accumulateurs sont logés dans le fourgon même et abrités dans une caisse spéciale placée à l'extrémité opposée à celle qu'occupe le frein à main et le pupitre du conducteur. La boîte du commutateur de réduction et des prises de charges est fixée à l'extérieur à l'extrémité d'un des côtés de la caisse des accumulateurs. Le commutateur d'allumage est placé à l'intérieur; les conducteurs sont intérieurs et placés sous moulures; les lampes sont au nombre de trois.

Pour les bureaux de poste ambulants, les accumulateurs et le réducteur sont logés comme dans les voitures ordinaires; le commutateur d'allumage est à l'intérieur; les conducteurs de décharge sont aussi intérieurs; dix lampes sont réparties au-dessus des casiers de triage.

L'installation des voitures de luxe ne diffère de celle des voitures ordinaires que par le nombre et la puissance lumineuse des lampes.

La charge des accumulateurs se fait toujours directement sur les voitures elles-mêmes au moyen de canalisations soit souterraines, soit aériennes, établies le long des voies sur lesquelles stationnent les trains. La charge est mise en route dès la rentrée des trains dans les garages ou sur les voies où se fait le nettoyage des véhicules. Elle se fait généralement à potentiel constant et demande entre trois et cinq heures, au maximum, selon l'état des batteries. Enfin celles-ci ne sont sorties de leurs coffres pour être visitées, nettoyées et mises en état qu'à des périodes déterminées et selon un roulement méthodique. On réduit ainsi au minimum les frais de manutention [1]. J. R.

[1] Dans un article publié dans le *Génie civil* du 7 août, M. Hubou donne les renseignements complémentaires qui suivent sur le dispositif d'éclairage de la compagnie du chemin de fer du Nord.

Cinquante wagons environ sont installés. Les acccumula-

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Méthode de mesure des faibles résistances;

Par G. Santarelli [1].

Ayant eu l'occasion d'effectuer des mesures de résistances très petites, l'auteur a imaginé la méthode suivante qui lui a donné des résultats très précis indépendants de la polarisation de la pile employée :

[1] *L'Elettricista*, t. VI, p. 125, mai 1896.

L'un des circuits f d'un galvanomètre différentiel G (fig. 1) est relié aux extrémités d'une

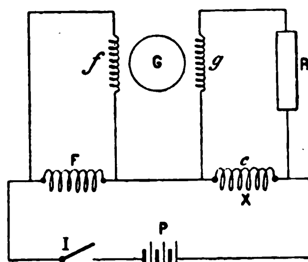


Fig. 1.

résistance quelconque F ; l'autre circuit g est relié à une boîte de résistance R et à une résistance connue c. Les résistances F et c et un interrupteur I sont placés en série sur le circuit d'une pile P. On modifie la valeur de la résistance introduite par la boîte R jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre ne dévie plus par la fermeture de l'interrupteur ; soit R_c cette valeur. Ensuite on remplace la résistance connue c par la résistance X à mesurer et on donne à la résistance R une valeur R_x telle que l'aiguille du galvanomètre reste en place quand on ferme le circuit. Il est facile de voir que l'on a

$$\frac{c}{R_c + g} = \frac{X}{R_x + g},$$

relation qui donne X.

Comment s'effectue la décharge d'un condensateur quand on lui offre deux chemins ; représentation mécanique du phénomène ;

Par GARBASSO [1].

1. Pour traiter le problème de la décharge, l'auteur écrit d'abord l'équation qui exprime que la chaleur de Joule dégagée pendant un temps dt est l'équivalent de la somme des variations de l'énergie électrostatique du condensateur et de l'énergie magnétique du champ produit par les courants. Il exprime ensuite que le rapport des intensités est tel que, pour une valeur donnée de leur somme, cette dernière énergie ait sa valeur minima ; il résulte de cette condition que les intensités i_1 et i_2 dans les branches de self-induction L_1 et L_2, dont le coefficient d'induction mutuelle est M, sont dans le rapport

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{M - L_2}{M - L_1}.$$

L'équation à laquelle satisfait la quantité d'électricité q qui se trouve sur une armature du condensateur est la même que dans le cas de la décharge par un fil simple dont le coefficient de self-induction serait $\frac{(L_1 L_2 - M^2)}{L_1 - 2M + L_2}$ et la résistance $\frac{[R_1 (M - L_2)^2 + R_2 (M - L_1)^2]}{(L_1 - 2M + L_2)}$.

Ces résultats se simplifient lorsque l'induction mutuelle est nulle.

2. L'intensité d'un courant définissant à elle seule les phénomènes du circuit électrique, le mouvement d'un système à liaisons complètes pourra représenter ces phénomènes. L'auteur choisit la rotation d'un solide autour d'un axe fixe ; la vitesse angulaire sera l'analogue de l'intensité du courant, le moment d'inertie celui du coefficient de self-induction, etc.

Passant au cas de deux fils en parallèle l'auteur décrit un système dans lequel un corps tournant autour d'un axe prend, au moyen d'engrenages, une vitesse angulaire qui est toujours égale à la somme des vitesses angulaires de rotation de deux autres corps indépendants ; on a ainsi une image de la conservation de l'électricité à la bifurcation d'un conducteur. C. R.

---

teurs, du type Laurent Cély, viennent de la Société pour le travail électrique des métaux. Une batterie complète (à 9 plaques par élément) pèse 240 kg ; l'aménagement spécial sous le wagon pesant 150 kg, la surcharge de chaque voiture est de 390 kg.

Les voitures de 1re classe, à 4 compartiments, sont éclairées par 4 lampes de 10 bougies ; celles de 2e classe, à 5 compartiments, par 5 lampes de 8 bougies, et celles de 3e, à 6 compartiments, par 6 lampes de 6 bougies.

[1] *Nuovo Cimento*, t. VI, p. 15, juillet 1897.

De l'aspect que présentent certaines décharges qui traversent des lames minces métalliques ;

Par Pettinelli (1).

On amène une mince feuille d'étain au contact de deux boules de 2 centimètres de diamètre, reliées par l'intermédiaire de deux condensateurs aux pôles d'une machine électrostatique ou d'une bobine de Ruhmkorff. La décharge prend la forme de vives étincelles, qui jaillissent normalement à la surface des boules, au contact de l'étain; le métal est projeté en globules. Les effets sont plus énergiques quand on intercale un dispositif de Tesla capable de donner une décharge à une distance de 0,3 mm. Les autres métaux se comportent d'une façon analogue. C. R.

CHRONIQUE

Les succédanées du caoutchouc. — Par suite de la hausse constante du prix du caoutchouc dans ces dernières années, de nombreux essais ont été faits pour substituer à ce corps dans ses nombreuses applications, électriques ou autres, des composés d'un prix de revient moins élevé. Laissant de côté les mélanges plus ou moins complexes proposés et employés pour l'isolation des appareils électriques et qui, dans certains cas, présentent sur le caoutchouc pur des avantages, M. H.-L. Terry, dans *The Electrician* du 6 août (p. 484), appelle l'attention des électriciens sur trois succédanées qui ont déjà pris ou sont sur le point de prendre une grande extension.

L'un d'eux est le résultat de l'oxydation de l'huile de lin par l'oxygène ou mieux par l'ozone. A la vérité cette substance n'a pas encore reçu beaucoup d'applications dans l'industrie du caoutchouc, mais son usage de plus en plus général dans l'industrie du linoléum fait penser qu'elle ne tardera pas à prendre dans le premier une place importante.

Le second résulte de la réaction du chlorure de soufre sur l'huile de navette ; cette réaction, connue depuis plus de cinquante ans, a été l'objet d'un brevet il y a une trentaine d'années déjà, mais ce n'est qu'en 1884 qu'elle commença à être utilisée, par suite de l'augmentation du prix du Para. On obtient ainsi une masse gélatineuse qui, par laminage avec du caoutchouc, se mélange très intimement avec ce dernier. Dépourvue d'élasticité, elle ne peut être utilisée dans les applications du caoutchouc qui exigent cette qualité, mais comme son mélange avec le caoutchouc se dissout facilement dans le pétrole (bien que seule elle soit à peu près insoluble), ce mélange est très employé pour les applications où il est demandé seulement une étanchéité à l'eau.

Le troisième est obtenu en faisant bouillir de l'huile de navette et du soufre jusqu'à solidification du mélange. Ce produit, fabriqué principalement en France, présente sur le précédent plusieurs avantages et tend à se substituer à lui dans ses applications : en premier lieu son prix de revient est environ moitié moindre; en second lieu son application est des plus simples et débarrassée des inconvénients que présente l'emploi du chlorure de soufre, liquide émettant des vapeurs toxiques et dont la manipulation est des plus désagréables. Il avait, aux débuts, l'inconvénient de posséder une odeur pénétrante et une couleur brun noirâtre, mais cet inconvénient a pu être éliminé et depuis il est fort employé.

Quelles peuvent être les conséquences de l'emploi de ces succédanées dans la confection des enveloppes isolantes des câbles électriques ? Pour le premier, on ne peut encore se prononcer. Les deux autres qui, par leur mode de fabrication, contiennent une très forte proportion de soufre peuvent attaquer les conducteurs même lorsque ceux-ci sont recouverts d'une couche d'étain. De plus le second possède souvent une réaction acide qui augmente son action sur les métaux.

Pour ces raisons, l'auteur est d'avis qu'il serait imprudent de la part des ingénieurs électriciens d'employer ces succédanées et que le mieux, au moins pour le moment, est de payer les câbles un prix suffisant pour être assuré qu'ils sont isolés avec du caoutchouc pur. Mais comme cette dernière condition n'est pas toujours suffisante pour avoir un isolant de première qualité, il ne serait

pas inutile d'en faire faire l'analyse, analyse qui, suivant l'auteur, peut, entre des mains exercées, permettre de reconnaître la fraude.

Procédé Hurter pour la fabrication des chlorates alcalins. — Voici, d'après l'*Industrie Électrochimique*, les particularités de ce procédé :

La cuve électrolytique, en fonte, est revêtue intérieurement d'une couche poreuse en ciment. M. Hurter obtient cette couche poreuse par l'application d'une série de fines couches d'un mélange de ciment de Portland, de sel et d'eau. Quand la couche a l'épaisseur voulue, il l'a laisse sécher, puis il remplit la cuve d'eau qui dissout le sel. Il obtient ainsi contre les parois une enveloppe poreuse inattaquable par l'électrolyte.

Les cuves doivent être rondes ou ovales. Les carrées ou rectangulaires conviennent moins, parce que la couche de ciment est beaucoup plus sujette à se détacher d'une surface plane. Chaque cuve est en communication avec le pôle négatif du générateur. L'anode, qui est formée d'une lame de platine, plonge au centre de la cuve.

M. Hurter superpose ses cuves en les séparant par une rondelle de matière isolante. L'anode de chaque électrolyseur est directement attachée au fond de la cuve qui se trouve au-dessus. Celle du dernier électrolyseur est fixée au couvercle de celui-ci. L'électrolyte circule d'une cuve à l'autre à travers les tuyaux construits en matière non conductrice et inattaquable à l'électrolyte, ou en métal et alors isolés par des colliers en matière non conductrice. D'autres tubes sont destinés à l'entrée et à la sortie de l'électrolyte. Les cuves sont munies, vers la partie supérieure, d'ouvertures destinées à l'évacuation des gaz.

M. Hurter emploie une solution alcaline de chlorure de potassium et opère entre 60 et 80° C, en utilisant pour le chauffage soit le courant lui-même, soit une source de chaleur extérieure.

Application du chauffage électrique dans une fabrique de chapeaux. — Notre confrère New-Yorkais, *The Electrical World*, donne d'intéressants renseignements sur une installation qui a été faite récemment par M. W.-S. Hadaway, dans la fabrique de chapeaux de MM. Budish et Zudizky, à Newark (N.-Y.) pour remplacer par des appareils électriques les appareils chauffés au gaz employés pour repasser les chapeaux de feutre en cours de fabrication, pendant l'appropriage, après que les opérations du bastissage, de la foule, de la teinture et de l'apprêt sont terminées.

Les fers à main sont au nombre de 12 ; ils pèsent chacun 9 kg environ, et consomment 450 watts ; plusieurs réchauds électriques de 450 watts sont aussi employés pour chauffer les tampons à humecter connus sous le nom de fumerette ou d'éponge ; enfin 7 machines automatiques, jadis chauffées au gaz, ont été munies de fers électriques ; ces machines se composent d'une forme sur laquelle on fixe le chapeau en cours de fabrication et qu'un mouvement mécanique fait tourner lentement autour de son axe ; on place le fer à repasser sur le chapeau, près des bords et la machine le fait avancer automatiquement vers le centre ; lorsqu'il est parvenu en ce point, il tombe de lui-même ; ces derniers repasseurs consomment 400 watts.

M. Hadaway a adopté pour ces fers une disposition spéciale ; l'intérieur du fer est creusé en forme de cône allongé et est émaillé ; on enroule les conducteurs en spirale dans cette cavité et on enfonce dans le centre des coins qui les pressent sur le fer ; le tout est fermé par un couvercle convenable. On peut ainsi enrouler dans un faible espace une assez grande longueur de fil qui est bien en contact avec le fer à chauffer et qui est libre de se dilater.

L'usine est formée de trois étages dans lesquels les machines nécessaires à la fabrication sont réparties. Un moteur Wright de 100 chevaux met toutes les machines en mouvement au moyen de courroies et d'arbres de transmission ; elle entraîne également une dynamo Edison de l'ancien type bipolaire, qui fournit 20 kilowatts sous 110 volts, et qui assure le service de l'éclairage et du chauffage. L'éclairage comprend 80 à 100 lampes de 16 bougies et plusieurs arcs.

Lorsque le chauffage et l'éclairage étaient faits au gaz, la dépense mensuelle était d'environ 200 fr. Depuis l'adoption de l'électricité, les dépenses ont été réduites de moitié. L'installation de la dynamo n'a pas entraîné d'augmentation du matériel moteur ni du personnel. Les seuls frais sont la consommation de combustible, l'intérêt et l'amortissement et l'entretien. La puissance absorbée est en moyenne de 10 chevaux pour l'ensemble des deux services et la consommation de charbon d'environ 2,7 kg par cheval-heure.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Conducteur

Électrolytes

Diélectriques

Décharge électrique

Rayons Rœntgen

Magnétisme

Sources d'électricité

Météorologie électrique et magnétique

Électro-optique

Électrobiologie

APPLICATIONS

Génération de l'énergie électrique

Distribution de l'énergie électrique

Applications mécaniques

Traction

Télégraphie et téléphonie

Applications thermiques

Éclairage

Électrochimie

MESURES

Généralités

DIVERS

Bibliographie

Divers

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

C

D

E

F

G

H

I

J

K

N

O

P

R

S

T

U

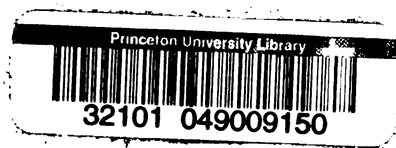
V

W

Z

TABLE DES SUPPLÉMENTS

Évreux, imprimerie de Charles Hérissey


Princeton University Library
32101 049009150

